Biblioteca Scientifica 22

Antonio R. Damasio

L'ERRORE DI CARTESIO

Emozione, ragione e cervello umano

ADELPHI

Antonio R. Damasio

L'ERRORE DI CARTESIO

Emozione, ragione e cervello umano

ADELPHI EDIZIONI

TITOLO ORIGINALE:
Descartes' Error
Emotion, Reason, and the Human Brain

Traduzione di Filippo Macaluso

© 1994 ANTONIO R. DAMASIO, M.D.
© 1995 ADELPHI EDIZIONI S.P.A. MILANO
ISBN 88-459-1181-0

INDICE

Ringraziamenti 13

Introduzione 17

PARTE PRIMA

1. SCIAGURA NEL VERMONT 31

Phineas P. Gage, 31 Gage non era più lui, 36 Perché Phineas Gage?, 40 Digressione sulla frenologia, 45 Una pietra miliare – col senno di poi, 49

2. IL CERVELLO DI GAGE DISVELATO 53

Il problema, 53 Digressione sull'anatomia del sistema nervoso, 58 La soluzione, 67

3. UN MODERNO PHINEAS GAGE 71

Una nuova mente, 78 Risposta alla sfida, 83 Ragionare e decidere, 86

4. A SANGUE PIÙ FREDDO 95

Prove da altri casi di lesioni prefrontali, 97 Prove da lesioni oltre le cortecce prefrontali, 107 Una riflessione su anatomia e funzione, 117 Una sorgente, 119 Prove dagli studi su animali, 122 Digressione sulle spiegazioni neurochimiche, 126 Conclusione, 128

PARTE SECONDA

5. ELEMENTI DI UNA SPIEGAZIONE 133

Una misteriosa alleanza, 133 Su organismi, corpi e cervelli, 136 Stati degli organismi, 137 Corpo e cervello interagiscono: l'organismo dall'interno, 138 Su mente e comportamento, 140 Organismo e ambiente interagiscono: confronto con il mondo di fuori, 142 Digressione sull'architettura dei sistemi neurali, 144 Dall'attività ripartita a una mente integrata, 147 Immagini di adesso, immagini del passato e immagini del futuro, 149 La formazione delle immagini percettive, 152 Immagazzinamento di immagini e formazione di immagini per richiamo, 154 La conoscenza è incorporata nelle rappresentazioni disposizionali, 160 Il pensiero è fatto in larga misura di immagini, 162 Alcuni accenni allo sviluppo neurale, 165

6. REGOLAZIONE BIOLOGICA E SOPRAVVIVENZA 171

Disposizioni per la sopravvivenza, 171 Ancora sulla regolazione di base, 176 Tristano, Isotta e il filtro d'amore, 179 Oltre le pulsioni e gli istinti, 182

7. EMOZIONI E SENTIMENTI 187

Emozioni, 189 Specificità dell'apparato neurale dietro le emozioni, 202 Sentimenti, 206 Ingannare il cervello, 213 Varietà di sentimenti, 215 Il cor-

po come teatro delle emozioni, 222 Por mente al corpo, 227 Il processo del sentimento, 228

8. L'IPOTESI DEL MARCATORE SOMATICO 235

Ragionamento e decisione, 235 Ragionamento e decisione nello spazio personale e sociale, 239 Razionalità all'opera, 241 L'ipotesi del marcatore somatico, 244 Una digressione sull'altruismo, 248 Da dove provengono i marcatori somatici?, 250 Una rete neurale per i marcatori somatici, 254 Il teatro dei marcatori somatici è nel corpo o nel cervello?, 258 Marcatori somatici manifesti o celati, 259 Intuizione, 263 Il ragionamento fuori del dominio personale e di quello sociale, 265 L'aiuto dell'emozione, per il meglio e per il peggio, 267 Accanto e oltre i marcatori somatici, 273 Inclinazioni e creazione di ordine, 277

PARTE TERZA

9. L'IPOTESI DEL MARCATORE SOMATICO ALLA PROVA 283

Sapere ma non sentire, 283 Rischiare: gli esperimenti con giochi d'azzardo, 291 Miopia rispetto al futuro, 298 Prevedere il futuro: correlati fisiologici, 301

10. IL CERVELLO PENSOSO DEL CORPO 305

Niente corpo, mai mente, 305 Il corpo come riferimento di base, 319 Il sé neurale, 320

11. LA PASSIONE DEL RAGIONARE 333

L'errore di Cartesio, 336

POST SCRIPTUM 343

Il cuore umano in conflitto, 343 La neurobiologia

moderna e l'idea di medicina, 345 Una nota sui presenti limiti della neurobiologia, 349 Leve per la sopravvivenza, 352

Note e fonti bibliografiche 361

Altre letture 387

Indice analitico 393

L'ERRORE DI CARTESIO

Per Hanna

RINGRAZIAMENTI

Durante la preparazione del manoscritto, ho avuto la fortuna di ricevere consigli da diversi colleghi che lo hanno letto e mi hanno offerto suggerimenti: Ralph Adolphs, Ursula Bellugi, Patricia Churchland, Paul Churchland, Francis H. Crick, Victoria Fromkin, Edward Klima, Frederick Nahm, Charles Rockland, Kathleen Rockland, Daniel Tranel, Gary van Hoesen, Jonathan Winson, Steven Anderson, Richard Caplan e Arthur Benton. Dalle amichevoli discussioni che i loro commenti hanno suscitato ho appreso moltissimo, specie quando (come a volte è accaduto) non è stato possibile trovare alcun accordo. Li ringrazio tutti per avermi fatto dono del loro tempo, delle loro conoscenze e della loro saggezza; ma non vi sono parole adeguate per dare il giusto credito alla pazienza con la quale Ralph, Dan, Mrs. Lundy e Charles hanno letto successive stesure di svariati capitoli e mi hanno aiutato a migliorarli.

Quel che scrivo è frutto di un'esperienza di circa venticinque anni, diciassette dei quali trascorsi presso la University of Iowa. Sono grato ai miei colleghi

del Dipartimento di Neurologia, in particolare ai membri della divisione di Neuroscienze cognitive (Hanna Damasio, Daniel Tranel, Gary van Hoesen, Arthur Benton, Kathleen Rockland, Matthew Rizzo, Thomas Grabowski, Steven Anderson, Ralph Adolphs, Antoine Bechara, Robert Jones, Joseph Barrash, Julie Fiez, Ekaterin Semendeferi, Ching-Chiang Chu, Joan Brandt e Mark Nawrot), per quanto mi hanno insegnato nel corso degli anni e per l'energia e la perizia con cui hanno contribuito a creare un ambiente unico per lo studio del cervello e della mente. Sono altrettanto grato ai pazienti neurologici che sono stati esaminati nella mia unità (e che oggi assommano a più di 1800), per la possibilità offertami di comprendere i loro problemi. Spero che le considerazioni esposte in questo libro aiuteranno loro e le loro famiglie a chiarire le difficoltà che devono fronteggiare. Spero, in particolare, che il libro li aiuterà a spiegare agli altri perché a volte si comportano in certi modi.

Vorrei poter ringraziare John Harlow per la documentazione su Phineas Gage che egli ci ha lasciato, e sulla quale si fondano i capitoli iniziali del mio libro. Alla luce delle nostre conoscenze attuali, essa consente numerose interessanti deduzioni e congetture – ma non la mia descrizione di Joseph Adams o del tempo che faceva il giorno dell'incidente: queste sono pure licenze letterarie.

Betty Redeker ha preparato il manoscritto con la dedizione, l'impegno professionale e il senso dell'umorismo che sempre caratterizzano il suo lavoro; Jon Spradling e Denise Krutzfeldt mi hanno aiutato nelle ricerche bibliografiche con la consueta abilità; Timothy Meyer ha riletto con cura il testo.

Questo libro non sarebbe stato scritto senza la guida esperta e la profonda influenza di due amici, Michael Carlisle e Jane Isay, il cui entusiasmo e la cui devozione sono inestimabili.

Le idee, le scoperte, le critiche, i suggerimenti e l'ingegno di Hanna Damasio sono parte integrante del libro. Non posso nemmeno tentare di ringraziarla per il suo contributo.

Tutte le figure sono originali, e sono state eseguite da Hanna Damasio, eccetto la fig. 2.6 che è stata disegnata da Kathleen Rockland. La fig. 5.2 contiene una microfotografia tratta dall'articolo di Roger Tootell, qui riprodotta con l'autorizzazione di Tootell e del « Journal of Neuroscience ». Le figg. 7.3 e 7.4 includono fotografie di Julie Fiez, qui riprodotte con la sua autorizzazione.

INTRODUZIONE

Non saprei dire con certezza che cosa abbia acceso il mio interesse per le basi neurali della ragione, anche se so bene quando arrivai a convincermi che le tradizionali opinioni sulla natura della razionalità potevano non essere corrette. Sin da giovane ero stato avvertito che le decisioni solide scaturiscono da una mente fredda, e che emozioni e ragione non si mescolano di più che olio e acqua. Così, ero cresciuto nella consuetudine di pensare che i meccanismi della ragione fossero disposti in una provincia separata della nostra mente, nella quale non doveva consentirsi alle emozioni di penetrare. E quando cominciai a pensare al cervello che sta dietro a quella mente, immaginai sistemi neurali distinti per la ragione e per l'emozione – secondo una credenza ampiamente diffusa sulla relazione tra le due, in prospettiva sia mentale sia neurologica.

Ma ora mi si parava davanti agli occhi l'essere umano intelligente più freddo e meno emotivo che si potesse immaginare, la cui ragione pratica, però, era talmente menomata da produrre, nelle vicende della vita quotidiana, un seguito di errori, una per-

petua violazione di quel che voi e io riterremmo socialmente appropriato e vantaggioso dal punto di vista personale. La sua mente era stata del tutto sana fino a che un danno neurologico non colpì un particolare settore del suo cervello, provocando da un giorno all'altro una profonda deficienza della capacità di decidere. Gli strumenti che si è soliti giudicare necessari e sufficienti per il comportamento razionale erano intatti: disponeva della memoria, dell'attenzione e della conoscenza richieste; il suo linguaggio non mostrava pecche; egli poteva eseguire calcoli, e poteva affrontare la logica di un problema astratto. Alla mancanza di capacità decisionale si accompagnava solo una vistosa alterazione della capacità di provare sentimenti. Sentimenti alterati e una ragione imperfetta si presentavano assieme come conseguenze di una specifica lesione cerebrale, e questa correlazione mi suggeriva che il sentimento fosse una parte integrante del modo di operare della ragione. Due decenni di lavoro clinico e sperimentale, condotto su un gran numero di pazienti neurologici, mi hanno permesso di ripetere questa osservazione più e più volte, e di trasformare un indizio in un'ipotesi verificabile.[1]

Ho cominciato a scrivere questo libro volendo proporre l'idea che la ragione può non essere così pura come la maggior parte di noi ritiene che sia, o vorrebbe che fosse; che i sentimenti e le emozioni possono non essere affatto degli intrusi entro le mura della ragione: potrebbero essere intrecciati nelle sue reti, per il meglio *e* per il peggio. Sia nell'evoluzione sia in ogni singolo individuo, le strategie della ragione umana probabilmente non si sono sviluppate senza la forza guida dei meccanismi di regolazione biologica dei quali emozione e sentimento sono espressioni notevoli. Per di più, anche dopo che le strategie del ragionamento si sono assestate, negli anni della formazione, il loro effettivo dispiegamento dipende in larga misura dalla ininterrotta capacità di provare sentimenti.

Con questo non si nega che l'intervento delle emozioni e dei sentimenti possa causare grande disordine nei processi di ragionamento. La saggezza tradizionale ci ha insegnato che ciò può avvenire, e anche analisi recenti del processo di ragionamento normale rivelano l'influenza potenzialmente dannosa delle inclinazioni emotive. È, quindi, ancor più sorprendente e nuovo che l'assenza di emozione e sentimento sia non meno dannosa, non meno capace di compromettere la razionalità che ci rende peculiarmente umani e ci permette di decidere in armonia con un senso di futuro personale, di convenzione sociale e di moralità.

Né ciò equivale a dire che sono i sentimenti, quando esercitano un'azione, a decidere per noi, o che noi non siamo esseri razionali. Io suggerisco soltanto che certi aspetti del processo dell'emozione e del sentimento sono indispensabili per la razionalità. Nei casi migliori, i sentimenti ci volgono nella direzione giusta, ci conducono al luogo appropriato di uno spazio decisionale nel quale possiamo fare bene operare gli strumenti della logica. Quando dobbiamo formulare un giudizio morale, decidere sull'andamento di una relazione personale, scegliere come evitare di trovarci privi di mezzi nella vecchiaia, o semplicemente decidere che cosa fare degli anni che verranno, siamo di fronte all'incertezza. Emozione e sentimento, insieme con i processi fisiologici che ne costituiscono la base nascosta, ci assistono nello scoraggiante compito di prevedere un futuro incerto e di pianificare in sintonia le nostre azioni.

Prenderò le mosse da un'analisi del celebre caso di Phineas Gage, vissuto nel secolo scorso, che per la prima volta rivelò una connessione tra razionalità menomata e uno specifico danno cerebrale; poi esaminerò gli studi recenti sulle sue controparti moderne, e passerò in rassegna le relazioni tra i risultati della ricerca neuropsicologica condotta su esseri

umani e di quella condotta su animali; inoltre, proporrò la tesi che la ragione umana dipende da diversi sistemi cerebrali, operanti di concerto attraverso molti livelli di organizzazione neuronica, anziché da un unico centro. Nel farsi della ragione cooperano sia le regioni cerebrali di livello « alto » sia quelle di livello « basso », dalle cortecce prefrontali all'ipotalamo e al midollo allungato.

Nell'edificio neurale della ragione, i livelli più bassi sono gli stessi che regolano l'elaborazione delle emozioni e dei sentimenti, insieme con le funzioni somatiche necessarie per la sopravvivenza dell'organismo. A loro volta, questi livelli mantengono relazioni dirette e mutue con pressoché tutti gli organi del corpo; questo viene così posto direttamente all'interno della catena di operazioni che generano le conquiste più alte del ragionamento, della decisione e, per estensione, del comportamento sociale e della creatività. Emozione, sentimento, regolazione biologica hanno tutti un ruolo nella ragione umana. I livelli più modesti del nostro organismo fanno parte del ciclo della ragione superiore.

È interessante ritrovare l'ombra del nostro passato evolutivo al livello più squisitamente umano della funzione mentale, anche se già Charles Darwin prefigurò l'essenza di questo risultato quando scrisse dell'impronta indelebile delle origini inferiori che gli esseri umani portano nella loro struttura corporea.[2] Tuttavia la dipendenza della ragione alta dal cervello inferiore non trasforma la prima in ragione bassa. Il fatto che l'agire in accordo con un principio etico richieda la partecipazione di connessioni semplici nel nucleo encefalico non immiserisce il principio stesso. L'edificio dell'etica non crolla, la moralità non ne è minacciata e, nell'individuo normale, la volontà rimane volontà. Quello che può cambiare è il nostro modo di vedere come la biologia abbia contribuito all'origine di certi princìpi etici che scaturiscono in un dato contesto sociale,

quando molti individui dotati di disposizione biologica simile interagiscono in circostanze specifiche.

Il sentimento è il tema centrale di questo libro; un tema verso il quale sono stato attratto non in modo preordinato ma per necessità, mentre mi sforzavo di comprendere i processi neurali e cognitivi che stanno dietro il ragionamento e la decisione. Una seconda idea presente nel libro, perciò, è che l'essenza di un sentimento può non essere una qualità mentale elusiva legata a un oggetto, ma piuttosto la percezione diretta di un paesaggio specifico, quello del corpo.

La mia indagine sui pazienti neurologici nei quali lesioni cerebrali avevano menomato l'esperienza dei sentimenti mi ha condotto a pensare che questi ultimi non siano così intangibili come si è presunto che siano. È possibile fissarli mentalmente, e forse anche trovarne il substrato neurale. Distaccandomi dal pensiero neurobiologico corrente, io avanzo l'idea che le reti critiche su cui si fondano i sentimenti comprendono non soltanto la collezione di strutture cerebrali nota come sistema limbico (già tradizionalmente accreditata), ma pure alcune delle cortecce cerebrali prefrontali e, soprattutto, quei settori dell'encefalo che integrano i segnali provenienti dal corpo e che ne generano mappe.

Esprimo in termini concettuali l'essenza dei sentimenti come qualcosa che voi e io possiamo vedere attraverso una finestra che si apre direttamente su un'immagine – continuamente aggiornata – della struttura e dello stato del corpo. Se si immagina quel che si vede dalla finestra come un paesaggio, allora la « struttura » del corpo è analoga alle forme degli oggetti in uno spazio, mentre lo « stato » del corpo assomiglia a luci, ombre, movimenti e suoni degli oggetti in tale spazio. Nel paesaggio del corpo, gli oggetti sono i visceri (cuore, polmoni, intestino, muscoli); luce, ombra, movimento e suono rappre-

sentano un punto nell'àmbito di funzionamento di tali organi, in un dato istante. Nell'insieme, un sentimento è la « veduta » momentanea di una parte di quel paesaggio del corpo. Esso ha un contenuto specifico (lo stato del corpo) e specifici sistemi neurali di sostegno (il sistema nervoso periferico e le regioni del cervello che integrano i segnali correlati con la regolazione e la struttura del corpo). Poiché il senso di tale paesaggio del corpo è affiancato, nel tempo, alla percezione e alla reminiscenza di qualcos'altro che non è parte del corpo – un viso, una melodia, un aroma – i sentimenti finiscono con l'essere « qualificatori » di tale qualcos'altro. Ma c'è di più, nel sentimento. Come spiegherò più avanti, lo stato qualificante del corpo, positivo o negativo, è accompagnato e costruito da una corrispondente modalità di pensiero: veloce e ricca di idee, quando lo stato corporeo è nella fascia positiva, piacevole, dello spettro; lenta e ripetitiva, quando esso volge verso la fascia dolorosa.

In tale prospettiva, i sentimenti sono i sensori per l'accoppiamento – o il mancato accoppiamento – tra natura e circostanze. Per natura intendo sia quella che abbiamo ereditato come pacchetto di adattamenti geneticamente organizzati, sia quella che abbiamo acquisito nello sviluppo individuale, attraverso interazioni con l'ambiente fisico e sociale, in modo consapevole e voluto oppure no. I sentimenti, insieme con le emozioni da cui provengono, non sono un lusso: essi servono come guide interne, ci aiutano a comunicare agli altri significati che possono guidare anche loro. E i sentimenti non sono né inafferrabili né sfuggenti; contrariamente a quanto ritiene l'opinione scientifica tradizionale, essi sono altrettanto cognitivi quanto gli altri percetti. Sono il risultato di una straordinaria sistemazione fisiologica che ha fatto del cervello l'avvinto uditorio del corpo.

I sentimenti ci consentono di dare un'occhiata al-

l'organismo in pieno fervore biologico, di cogliere un riflesso dei meccanismi della vita stessa nel loro operare. Se non fosse per la possibilità di sentire stati del corpo che sono intrinsecamente consacrati a essere dolorosi o piacevoli, nella condizione umana non vi sarebbero sofferenza o beatitudine, brama o mercé, tragedia o gloria.

A prima vista, l'immagine qui proposta dello spirito umano può non essere intuitiva, né confortante. Nel tentativo di gettare luce sui complessi fenomeni della mente umana, rischiamo di degradarli e di perderli con la spiegazione; ma ciò accadrà soltanto se confonderemo un fenomeno con i componenti e i processi separati che possono ritrovarsi dietro la sua apparenza – e non è questo che voglio suggerire.

Scoprire che un particolare sentimento dipende dall'attività di un certo numero di specifici sistemi cerebrali in interazione con un certo numero di organi del corpo non sminuisce lo status di quel sentimento come fenomeno umano. Né l'angoscia né l'euforia che amore o arte possono portare con sé risultano svalutate dal comprendere alcune delle miriadi di processi biologici grazie ai quali esse sono quel che sono. Dovrebbe essere vero proprio il contrario: il nostro senso di meraviglia dovrebbe aumentare, dinanzi agli intricati meccanismi che rendono possibile tale magia. I sentimenti formano la base di quello che da millenni gli esseri umani descrivono come lo spirito o l'anima dell'uomo.

Questo libro tratta anche un terzo argomento, collegato con i primi due: quello in base al quale il corpo, così come è rappresentato nel cervello, può costituire l'indispensabile cornice di riferimento per i processi neurali che noi avvertiamo come mente. Proprio il nostro organismo, piuttosto che qualche realtà esterna assoluta, è usato come riferimento base per le costruzioni che elaboriamo del

mondo circostante e di quel senso di soggettività, sempre presente, che è parte integrante delle nostre esperienze; e le nostre azioni migliori e i pensieri più elaborati, le nostre gioie e i nostri dolori più grandi, tutti impiegano il corpo come riferimento.

Per quanto sulle prime possa sorprendere, la mente esiste dentro e per un organismo integrato: le nostre menti non sarebbero quello che sono se non fosse per l'azione reciproca di corpo e cervello – nel corso dell'evoluzione, durante lo sviluppo dell'individuo e nel momento presente. La mente dovette prima essere per il corpo, o non sarebbe potuta essere. Sulla base del riferimento che il corpo fornisce con continuità, la mente può allora avere a che fare con molte altre cose, reali e immaginarie.

Quest'idea si radica sui seguenti enunciati: 1) il cervello umano e il resto del corpo costituiscono un organismo non dissociabile, integrato grazie all'azione di circuiti regolatori neurali e biochimici interagenti (che includono componenti endocrini, immunitari e nervosi autonomi); 2) l'organismo interagisce con l'ambiente come un insieme: l'interazione non è del solo corpo né del solo cervello; 3) i processi fisiologici che noi chiamiamo «mente» derivano dall'insieme strutturale e funzionale, piuttosto che dal solo cervello: soltanto nel contesto dell'interagire di un organismo con l'ambiente si possono comprendere appieno i fenomeni mentali. Il fatto che l'ambiente sia, in parte, un prodotto dell'attività stessa dell'organismo semplicemente sottolinea la complessità delle interazioni che bisogna tenere in conto.

Quando si parla di cervello e di mente, non è consuetudine fare riferimento agli organismi. Di fronte all'evidenza che la mente scaturisce dall'attività dei neuroni, si discute solo di questi, come se il loro funzionamento potesse essere indipendente da quello del resto dell'organismo. Ma via via che stu-

diavo i disturbi della memoria, del linguaggio e della ragione, presenti in numerosi esseri umani colpiti da lesioni al cervello, sempre più mi si imponeva l'idea che l'attività mentale – nei suoi aspetti più semplici come in quelli più alti – richiede sia il cervello sia il resto del corpo. Quest'ultimo, a mio avviso, fornisce al primo più che un puro sostegno e una modulazione: esso fornisce la materia di base per le rappresentazioni cerebrali.

È un'idea sostenuta da fatti; vi sono ragioni che la rendono plausibile e ragioni per le quali sarebbe bello se le cose stessero davvero così. Fra queste ultime, soprattutto la considerazione che la precedenza del corpo qui suggerita potrebbe gettar luce su una delle più tormentose domande che assillano gli esseri umani da quando hanno cominciato a indagare sulla mente: come avviene che siamo coscienti del mondo attorno a noi, che sappiamo ciò che sappiamo, che sappiamo di sapere?

Nella prospettiva dell'ipotesi accennata, amore e odio e angoscia, qualità come gentilezza e ferocia, la soluzione pianificata di un problema scientifico o la creazione di un nuovo artefatto si basano tutti su eventi neurali all'interno di un cervello, purché questo sia stato e sia in interazione con il corpo cui appartiene. L'anima respira attraverso il corpo, e la sofferenza, che muova dalla pelle o da un'immagine mentale, avviene nella carne.

Ho scritto questo libro come se fossi in conversazione con un immaginario amico: un amico curioso, intelligente e avveduto, poco edotto di neuroscienze ma molto della vita. Con lui ho stipulato un accordo: la conversazione doveva essere vantaggiosa per entrambi. Egli avrebbe dovuto imparare qualcosa sul cervello e su quelle arcane cose che diciamo mentali; io avrei dovuto guadagnare in ispirazione mentre mi sforzavo di spiegare il che e il come, secondo me, del corpo, del cervello e della mente.

Abbiamo convenuto poi di non permettere che la conversazione si trasformasse in una lezione uggiosa, di non scontrarci con violenza, di non cercare di abbracciare troppi argomenti. Io avrei parlato di fatti assodati, di fatti ancora in dubbio e di ipotesi – anche di quelle fondate soltanto su vaghe impressioni; avrei parlato di lavori in corso, di svariati progetti di ricerca non ancora conclusi e di lavori che sarebbero stati avviati molto tempo dopo la fine della nostra conversazione. Era anche inteso che vi sarebbero state parentesi e digressioni (come si conviene a una conversazione), come pure parti che di primo acchito non sarebbero risultate chiare e si sarebbero avvantaggiate di una seconda visita. Ecco perché mi troverete a ritornare, di tanto in tanto, su alcuni argomenti, visti in una prospettiva diversa.

Ho dichiarato in apertura quel che penso sui limiti della scienza: la sua presunzione di obiettività mi trova scettico. Mi è difficile considerare i risultati scientifici – specialmente in neurobiologia – come qualcosa di più che approssimazioni provvisorie, da usare per un po' e poi gettar via non appena se ne rendono disponibili di migliori. Ma tale scetticismo sulla portata attuale della scienza (specie di quella che riguarda la mente) non implica minore entusiasmo verso ogni tentativo di migliorare le approssimazioni provvisorie.

Forse la complessità della mente umana è tale che, per i nostri limiti intrinseci, non si potrà mai conoscere la soluzione del problema. Forse non si dovrebbe nemmeno parlare di problema quanto di mistero, distinguendo tra domande cui la scienza può opportunamente accostarsi e domande destinate a rimanere senza risposta.[3] Ma, pur con tutta la simpatia che provo verso coloro i quali non sanno immaginare in qual modo potremmo svelare il mistero («misterici», sono stati chiamati)[4] e verso coloro i quali pensano che esso sia conoscibile, ma sarebbero delusi da una spiegazione fondata su qual-

cosa che già ci è noto, io credo piuttosto che riusciremo a sapere.

A questo punto, il lettore può averne concluso che la conversazione non riguardi Cartesio né la filosofia, anche se certamente riguarda la mente, il cervello, il corpo. Il mio amico ha suggerito che essa si svolga sotto il segno di Cartesio, giacché non vi è modo di accostarsi a tali argomenti senza evocare la figura di colui che ha offerto la spiegazione più diffusa sulla relazione tra quelle entità. Mi sono così accorto che, curiosamente, il libro avrebbe riguardato l'errore di Cartesio. Vi chiederete, naturalmente, quale fosse questo errore, ma per il momento sono votato a tenere il segreto; prometto, comunque, che sarà svelato.

Quindi la conversazione ebbe inizio, trattando della strana vita e dei tempi di Phineas Gage.

PARTE PRIMA

1
SCIAGURA NEL VERMONT

Phineas P. Gage

Siamo nel New England, alla fine dell'estate del 1848. Phineas P. Gage, venticinquenne caposquadra di un'impresa di costruzioni, sta per precipitare dalle stelle alle stalle. Un secolo e mezzo dopo, la sua caduta sarà ancora significativa.

Gage lavora per la Rutland & Burlington Railroad: a lui è affidata una squadra numerosa di operai (una *gang*, in gergo), con il compito di gettare i binari per una nuova linea ferroviaria che attraverserà il Vermont. Nelle due settimane precedenti, sono avanzati un po' a rilento, in direzione della cittadina di Cavendish; adesso sono impegnati su una sponda del Black River. Il loro lavoro è tutt'altro che agevole, per i numerosi affioramenti di roccia dura. Invece di aggirare ogni scarpata, si è deciso di far saltare la roccia, dove necessario, per aprire la via a un tracciato più diritto e piano. Gage sovrintende a tutti questi lavori, ed è magnificamente all'altezza; atletico e ben proporzionato nel suo metro e settanta di statura, si muove con rapidità e precisione. Somiglia a un giovane James Cagney, a un elegante Yankee Doodle che balli il tip tap su rotaie e traversine, vigoroso e aggraziato al tempo stesso.

Agli occhi dei suoi capi, poi, Gage è ben più che un dipendente in gamba come ce ne sono tanti: lo definiscono l'uomo « più efficiente e capace » tra quanti hanno assunto.[1] E questo è un bene, perché il lavoro richiede tanto maestria fisica quanto sottile concentrazione, soprattutto quando bisogna preparare le detonazioni. Qui occorre procedere in modo ordinato, passo dopo passo. Dapprima, va scavato un foro nella roccia; poi il foro va riempito per metà con esplosivo in polvere, si deve inserire la miccia e la polvere deve essere coperta con sabbia. Questa deve essere « pressata », cioè compattata con una accurata sequenza di colpi inferti con una barra di ferro. Infine, bisogna accendere la miccia. Se tutto va bene, la polvere esploderà dentro la roccia; la sabbia è essenziale, poiché senza la sua copertura protettiva l'esplosione si sfogherebbe fuori della roccia. Anche la forma della barra e il modo in cui viene usata sono molto importanti: Gage se ne è fatta fare una apposta, dando indicazioni precise, ed è un virtuoso della pressatura.

Alle quattro e mezzo di questo caldissimo pomeriggio, Gage ha appena finito di introdurre la polvere esplosiva nel foro, e ha detto all'uomo che è con lui di coprirla con la sabbia, fino al riempimento. Qualcuno da dietro lo chiama e Gage si volta per un istante a guardare sopra la propria spalla destra. Si distrae e prima che l'operaio abbia versato la sabbia comincia a pestare con la barra di ferro, direttamente sulla polvere. Subito fa sprizzare scintille dalla roccia, e la carica gli esplode sul viso.[2]

L'esplosione è così violenta che la squadra si blocca, raggelata: ma in pochi secondi è chiaro quel che è successo. L'esplosione è stata diversa dal solito, e la roccia è rimasta intatta; diverso dal solito anche il rumore che l'ha accompagnata, un sibilo come di razzo scagliato nel cielo. Ma non sono fuochi d'artificio: è un assalto, una scarica. La barra metallica penetra nella guancia sinistra di Gage, fora la base

della scatola cranica, attraversa la parte frontale del cervello ed esce, velocissima, dalla sommità della testa, per andare a cadere, impiastricciata di sangue e di tessuto cerebrale, a una trentina di metri di distanza. Phineas Gage è stato scagliato a terra e giace stordito, nel chiarore del pomeriggio; muto, ma sveglio. E così sono tutti gli impotenti spettatori.

Orribile incidente intitolano – prevedibilmente – la notizia il « Daily Courier » e il « Daily Journal » del 20 settembre, una settimana più tardi. Il 22 settembre, il « Vermont Mercury » curiosamente intitola *Mirabile incidente*; il « Boston Medical and Surgical Journal » con più precisione sceglie il titolo *Passaggio di una barra di ferro attraverso la testa.* A giudicare dalla concretezza con la quale raccontano la vicenda, si direbbe che i giornalisti conoscessero bene i racconti straordinari e i racconti dell'orrore di Edgar Allan Poe. Forse è così, anche se non sembra verosimile: i racconti gotici di Poe non sono ancora popolari, e lo stesso Poe morirà un anno dopo, sconosciuto e squattrinato. O forse è solo che l'orribile è nell'aria.

Tutti si sorpresero che Gage non fosse rimasto ucciso all'istante; l'articolo medico della rivista di Boston riporta che « subito dopo l'esplosione il paziente fu rivoltato sulla schiena »; che poco dopo egli mostrò « alcuni movimenti convulsi delle estremità » e « nel giro di pochi minuti parlò »; che « i suoi uomini (dei quali egli era un beniamino) lo sollevarono e a braccia lo trasportarono fino alla strada, che distava solo poche pertiche (una pertica essendo pari a circa 5 metri) e lo posero a sedere su un carro trainato da buoi, sul quale egli – seduto con la schiena eretta – percorse più di un chilometro, fino all'albergo di Joseph Adams »; e che Gage « scese dal carro da solo, con un piccolo aiuto da parte dei suoi operai ».

Vediamo un po' meglio la figura di Adams. Egli è il giudice di pace di Cavendish; inoltre possiede l'u-

nico albergo e l'unico spaccio di alcolici del paese. Io lo vedo più alto di Gage, largo quasi il doppio, apprensivo come la sua stazza da Falstaff lascia immaginare. Dopo essersi avvicinato a Gage, manda subito a chiamare il dottor John Harlow, uno dei medici di Cavendish. Nell'attesa, mi sembra quasi di sentirlo esclamare: « E allora, signor Gage, che cosa abbiamo? » e anche, perché no: « Ohimè, che disgrazia ci tocca vedere! ». Agita le mani, quasi ad allontanare ciò che è successo, e conduce Gage verso la zona ombreggiata del portico dell'albergo. Le descrizioni lo indicano come una *piazza*, che suona grande e spazioso e aperto; forse è grande e spazioso, ma non aperto: è giusto un porticato. Adams ora forse fa bere a Phineas Gage una limonata, o magari un bicchiere di sidro ben fresco.

Dall'esplosione è passata un'ora; il sole si sta abbassando e il caldo è più sopportabile. È in arrivo un altro medico, il dottor Edward Williams, un collega – più giovane – del dottor Harlow, il quale in seguito descriverà la scena con queste parole: « Quando lo vidi era seduto su una sedia nella *piazza* dell'albergo di Adams, a Cavendish. Appena mi avvicinai, mi disse: "Dottore, qui c'è lavoro per voi". Prima ancora di scendere dalla carrozza, avevo notato la ferita sulla sua testa: si potevano vedere chiaramente le pulsazioni del cervello. Notai anche qualcosa che non riuscii a spiegarmi, prima di esaminare la testa: la sommità di questa si presentava come un imbuto rovesciato. In seguito avrei scoperto che ciò era dovuto al fatto che l'osso attorno all'apertura era fratturato per una lunghezza di quasi 5 centimetri in tutte le direzioni. Ho dimenticato di precisare che l'apertura attraverso il cranio e i tegumenti aveva un diametro di quasi 4 centimetri: i bordi di questa apertura erano rovesciati, e nel complesso la ferita dava l'impressione che un oggetto sagomato a cuneo avesse attraversato la testa muovendo dal basso verso l'alto. Mentre io gli esa-

minavo la ferita, Gage raccontava ai presenti in che modo era stato colpito: parlava con tale lucidità ed era talmente desideroso di rispondere che io rivolsi le mie domande a lui piuttosto che agli uomini che erano presenti al momento dell'incidente e che ora ci attorniavano. Poi Gage mi riferì alcune delle circostanze, come ha poi fatto più volte, e io posso affermare con sicurezza che né allora né in una qualsiasi occasione successiva – salvo una – io lo considerai men che perfettamente razionale. L'unica volta in cui ne dubitai fu una quindicina di giorni dopo l'incidente, allorché insistette a chiamarmi John Kirwin – e però a tutte le mie domande rispose in modo corretto».[3]

Il fatto che Gage fosse sopravvissuto risulta tanto più sorprendente quando si considerino la forma e il peso della barra di ferro. Henry Bigelow, professore di chirurgia alla Harvard, la descrive con queste parole: «Il ferro che attraversò il cranio pesa 6 chilogrammi; è lungo 110 centimetri e ha un diametro di poco più di 3 centimetri. L'estremità che penetrò per prima è rastremata, per una lunghezza di 18 centimetri, e termina con una punta del diametro di circa 6 millimetri. A queste circostanze, forse, il soggetto deve la propria salvezza. Il ferro non somiglia ad alcun altro strumento, ed è stato fatto da un fabbro della zona seguendo le indicazioni del cliente».[4] Gage è piuttosto rigoroso per tutto quanto riguarda il suo lavoro e i ferri del mestiere.

Sopravvivere all'esplosione con una ferita al capo così ampia e profonda, essere capace di parlare e camminare e di mantenersi coerente subito dopo l'incidente: tutto ciò è ben sorprendente. Ma sarà altrettanto sorprendente che Gage superi il sopravvenire dell'inevitabile infezione. Il dottor Harlow conosce bene l'importanza della disinfezione. Non ha gli antibiotici, ma ricorrendo alle sostanze chimiche all'epoca disponibili egli pulisce la ferita energicamente e con metodo preciso; inoltre dispone il

paziente in posizione semisdraiata, in modo da facilitare il drenaggio. In Gage si produrranno forti febbri e almeno un ascesso, sul quale il bisturi di Harlow interverrà prontamente. Alla fine, la giovane età e la robusta costituzione di Gage avranno la meglio, con l'assistenza dell'intervento divino, come dirà Harlow: « Io l'ho medicato, Dio l'ha guarito ».

Phineas Gage sarà dichiarato guarito nel giro di meno di due mesi. Tuttavia quest'esito stupefacente impallidisce al confronto con la straordinaria svolta che la sua personalità sta per subire. Il suo carattere, i suoi gusti, i suoi sogni, le sue aspirazioni: tutti cambieranno. Il corpo di Gage può essere ben vivo e vegeto, ma c'è un nuovo spirito che lo anima.

Gage non era più lui

Quello che accadde esattamente possiamo arrivare a conoscerlo, oggi, a partire dal resoconto che il dottor Harlow stese vent'anni dopo l'incidente.[5] È uno scritto degno di fede, che offre dovizia di fatti e un minimo di interpretazione; convincente dal punto di vista sia umano sia neurologico, ci permette di ricostruire non solo la figura di Gage, ma anche quella del suo dottore. John Harlow era stato un insegnante di scuola, prima di entrare al Jefferson Medical College di Philadelphia; quando prese in cura Gage aveva cominciato da pochi anni a esercitare come medico. Il caso di Gage divenne l'interesse dominante di tutta la sua vita, e sospetto che abbia fatto desiderare a Harlow di essere uno studioso – il che forse non era nei suoi programmi quando cominciò la pratica medica nel Vermont. Il successo riportato nel curare Gage e i resoconti preparati per i suoi colleghi di Boston furono i momenti di gloria della sua carriera, e dovette turbarlo la nube che incombeva sulla terapia di Gage.

Nel suo racconto, Harlow descrive come Gage

riacquistò le forze e come si ristabilì pienamente, dal punto di vista fisico: poteva toccare, udire, vedere, e non subì paralisi agli arti o alla lingua. Aveva perduto la vista dall'occhio sinistro, ma con il destro ci vedeva perfettamente. Camminava con passo fermo, usava le mani con destrezza e non mostrava impaccio nella parola o nel linguaggio. E tuttavia, come riferisce Harlow, « l'equilibrio, per così dire, tra la sua facoltà intellettiva e le sue disposizioni animali » era stato distrutto. Questi cambiamenti divennero manifesti non appena fu superata la fase acuta della lesione cerebrale. Ora egli era « bizzarro, insolente, capace a volte delle più grossolane imprecazioni, da cui in precedenza era stato del tutto alieno; poco riguardoso nei confronti dei compagni; insofferente di vincoli o consigli che contrastassero i suoi desideri; a volte tenacemente ostinato, e però capriccioso e oscillante; sempre pronto a elaborare molti programmi di attività future che abbandonava non appena li aveva delineati ... Un bambino, nelle sue manifestazioni e capacità intellettuali, ma con le passioni animali di un adulto robusto ». Il linguaggio è talmente osceno e degradato che alle donne si consiglia di non rimanere a lungo in sua presenza, o la loro sensibilità ne sarà turbata. Né gli ammonimenti più vigorosi dello stesso Harlow riescono a riportare il nostro sopravvissuto a un comportamento corretto.

Questi nuovi aspetti della personalità di Gage erano in acuto contrasto con le « abitudini moderate » e con la « grande forza di carattere » che gli erano state proprie, come si sapeva, prima dell'incidente. Gage aveva avuto « una mente assai equilibrata, e quanti lo conoscevano guardavano a lui come a un uomo abile e avveduto nei suoi affari, molto energico e tenace nel perseguire tutti i programmi d'azione che si fosse prefissi ». Non c'è dubbio che egli avesse successo nell'àmbito del suo lavoro e dei suoi tempi. Di fronte a un cambiamento così ra-

dicale, amici e conoscenti quasi non lo riconoscevano, e osservavano tristemente che « Gage non era più lui ». Quando si ripresentò, i suoi datori di lavoro non lo riassunsero, poiché « secondo il loro giudizio la sua mente adesso era cambiata in modo così marcato che non potevano ridargli il posto che aveva prima ». Il problema non stava in un difetto di abilità o di capacità fisica; il problema era il suo nuovo carattere.

La vicenda continua a seguire il proprio corso. Non più in grado di fare il caposquadra, Gage trovò lavoro in vari allevamenti di cavalli; ma si arguisce che in genere lo lasciava presto, per un suo capriccio, oppure ne veniva allontanato per indisciplina. Harlow osserva che egli era molto bravo a « trovare sempre qualcosa che non gli andasse bene ». Cominciò allora la sua carriera come attrazione da circo. Gage venne presentato nel Barnum's Museum di New York, in vanagloriosa esibizione delle proprie ferite e della barra di ferro. (Questa non lo abbandonava mai, dichiara Harlow, il quale fa notare il forte attaccamento di Gage a oggetti e animali. Era un comportamento nuovo e in qualche modo fuori dell'ordinario, che si potrebbe chiamare « comportamento del collezionista », e che io ho osservato in vari pazienti colpiti da lesioni come quella di Gage e anche in individui autistici).

Allora, e assai più di oggi, il circo traeva profitto dalla crudeltà della natura. La varietà endocrina comprendeva i nani, la donna più grassa del mondo, l'uomo più alto, quello con la mandibola più sviluppata; la varietà neurologica comprendeva i giovani con « pelle da elefante », cioè colpiti da neurofibromatosi – e ora Gage. Possiamo immaginarcelo, in tale pittoresca brigata, dedito a barattare la propria disgrazia con denaro.

Quattro anni dopo l'incidente, un altro *coup de théâtre*: Gage parte per l'America del Sud. Qui lavora forse in allevamenti di cavalli e talvolta come con-

duttore di diligenze a Santiago e a Valparaiso. Non si sa molto altro sulla sua vita da espatriato, se non che nel 1859 la sua salute andava peggiorando.

Nel 1860, Gage ritornò negli Stati Uniti per andare a vivere con la madre e la sorella, che nel frattempo si erano trasferite a San Francisco. Lavorò dapprima in una fattoria di Santa Clara, ma non vi rimase a lungo. Anzi, continuò a muoversi, trovando lavori occasionali come manovale nella zona. Risulta chiaro che non era una persona indipendente, e che non era capace di assicurarsi quel tipo di occupazione regolare e sufficientemente retribuita che aveva avuto una volta. La fine della caduta si approssimava.

La San Francisco del 1860 me la immagino come un luogo brulicante di traffici, frequentata da audaci imprenditori, in un fiorire di attività agricole, minerarie, armatoriali. Qui possiamo trovare la madre e la sorella di Gage, quest'ultima sposata con un agiato mercante della città (tal D.D. Shattuck, Esquire); a questo ambiente il Phineas Gage di una volta sarebbe potuto appartenere. Ma non è qui che lo troveremmo, se potessimo viaggiare all'indietro nel tempo. Lo troveremmo, invece, probabilmente, intento a bere, tra una rissa e l'altra, in un quartiere malfamato; e quando la faglia si muoverà, i minacciosi sussulti della terra non lo coglieranno, attonito come tutti, nel bel mezzo di una conversazione con i signori del commercio. Egli si era unito alla compagnia di quegli sconfitti i quali « erano venuti in California per morire », per dirla con le parole che avrebbe usato Nathanael West, alcuni decenni più tardi e qualche centinaio di chilometri più a sud.[6]

Gli scarsi documenti disponibili suggeriscono che in Gage si manifestassero attacchi di epilessia. La fine giunse il 21 maggio 1861, dopo un malessere che durò poco più di una giornata. Gage ebbe una violenta convulsione che gli provocò perdita di coscienza, e poi una serie di convulsioni meno gravi;

morì senza avere riacquistato conoscenza. Io penso che egli fu vittima di uno stato di male epilettico – condizione nella quale le crisi convulsive si fanno pressoché continue e portano alla morte. Aveva allora trentotto anni. Nessun necrologio comparve sui giornali di San Francisco.

Perché Phineas Gage?

Qual è il possibile significato di una vicenda così strana? La risposta è semplice: mentre altri casi di danno neurologico, avvenuti più o meno nella stessa epoca, rivelavano che il cervello era la base del linguaggio, della percezione e della funzione motoria, fornendo anche in generale elementi più perentori, la storia di Gage additava un fatto sbalorditivo: vi erano nel cervello umano – anche se non si sapeva precisarne il come – sistemi deputati al ragionamento più che a qualsiasi altra funzione, e in particolare alle dimensioni personali e sociali del ragionamento. Un danno cerebrale poteva comportare la fine dell'osservanza di regole etiche e convenzioni sociali acquisite in precedenza, anche quando né il linguaggio né l'intelletto sembravano compromessi. Senza volerlo, l'esempio di Gage indicava che qualcosa nel cervello aveva a che fare specificamente con proprietà peculiarmente umane, tra cui la capacità di anticipare il futuro e di pianificare in accordo con tale anticipazione, all'interno di un ambiente sociale complesso; il senso di responsabilità verso sé stessi e verso gli altri; la capacità di predisporre la propria sopravvivenza in modo deliberato, in ottemperanza al proprio libero volere.

L'aspetto che più colpisce, in questa triste vicenda, è il contrasto tra la struttura normale della personalità quale era prima dell'incidente e i nefandi caratteri che emersero dopo, e che sembra si siano mantenuti per il resto della vita di Gage. Egli aveva

saputo, una volta, tutto ciò che gli occorreva sapere sulle scelte da compiere per migliorarsi; aveva il senso di una responsabilità personale e sociale (che si rifletteva nei progressi della sua carriera), si curava della qualità del proprio lavoro, richiamava l'ammirazione di datori di lavoro e colleghi. Era ben adattato, in termini di convenzioni sociali, e la sua condotta appare marcata da un'etica. Dopo l'incidente, in lui non vi è più alcun rispetto per le convenzioni sociali; l'etica – nel senso più ampio del termine – veniva violata, le decisioni da lui prese non tenevano in conto il suo più vero interesse, ed egli si dava a inventare storie « che non avevano alcun fondamento se non nella sua fantasia », secondo le parole di Harlow. Non si vede alcun indizio di preoccupazione per il proprio futuro, né alcun segno di preveggenza.

Le alterazioni della personalità di Gage non erano modeste. Egli non poteva compiere buone scelte, e le scelte che faceva non erano neutre; non erano le timide, riservate decisioni di qualcuno la cui mente è stata menomata ed è timoroso di agire, ma erano decisamente svantaggiose. Si potrebbe provare a supporre che il suo sistema di valori ora fosse differente, oppure che, se era rimasto lo stesso, in nessun modo i valori di prima potessero influenzare le sue decisioni. Non vi è alcun elemento che possa dirci se è vera l'una o l'altra ipotesi, ma esaminando vari pazienti colpiti al cervello in modo simile a Phineas Gage mi sono convinto che nessuna delle due spiegazioni coglie ciò che davvero accade in tali circostanze. Parte del sistema di valori rimane, e può essere utilizzata, in termini astratti: ma è priva di legami con le circostanze della vita reale. Quando i Phineas Gage di questo mondo devono operare nella realtà, le conoscenze che avevano acquisite prima dell'incidente influenzano solo in minima misura il processo di decisione.

Un altro aspetto importante è la discrepanza tra il

carattere degenerato e l'apparente integrità di svariati strumenti della mente: l'attenzione, la percezione, la memoria, il linguaggio, l'intelligenza. In neuropsicologia si parla in tali casi di *dissociazione*: una o più prestazioni, all'interno di un profilo generale di attività, sono in contrasto con le altre. Nel caso di Gage, il carattere, alterato, era dissociato da comportamento e cognizione, ben preservati. In altri pazienti, colpiti da lesioni in altri punti del cervello, l'aspetto alterato può essere il linguaggio, mentre rimangono integri il carattere e tutti gli altri aspetti cognitivi: la capacità « dissociata » è, quindi, il linguaggio. Altri studi su pazienti simili a Gage hanno in seguito confermato che tale dissociazione si presenta in misura consistente.

Non dev'essere stato facile credere che il cambiamento del carattere non si sarebbe risolto da sé. Sulle prime, anche il dottor Harlow fu riluttante ad ammettere che fosse permanente; e lo si comprende bene, perché nella storia di Gage l'elemento più impressionante era la sua sopravvivenza, quindi la sopravvivenza senza un difetto manifesto, come una paralisi, ad esempio, o un'alterazione del linguaggio, o una perdita di memoria. Puntare l'attenzione sulle deficienze sociali di Gage – di recente comparsa – appariva in qualche modo segno di ingratitudine nei confronti sia della provvidenza sia della medicina. Comunque, nel 1868 Harlow era pronto a riconoscere tutta la portata del cambiamento di personalità del suo paziente.

La sopravvivenza di Gage fu doverosamente notata, ma con le cautele che si riservano ai fenomeni bizzarri. Il significato delle modificazioni del suo comportamento andò in larga parte perduto, e per buone ragioni. Anche nel ristretto dominio delle neuroscienze dell'epoca, cominciavano a formarsi due fazioni. La prima sosteneva che non fosse possibile riportare a una particolare regione del cervello funzioni psicologiche quali il linguaggio o la me-

moria. Se si era costretti ad accettare, con riluttanza, che era il cervello a produrre la mente, lo si faceva considerandolo nel suo insieme, non come una collezione di parti dotate di funzioni particolari. L'altro schieramento riteneva, al contrario, che il cervello avesse parti specializzate e che queste generassero funzioni mentali separate. La divisione non è indicativa del fatto che la ricerca sul cervello muoveva allora i primi passi; infatti si è mantenuta per più di un secolo, e in una certa misura sussiste anche adesso.

Comunque, tutti i dibattiti scientifici suscitati dal caso di Gage si concentrarono sulla questione di localizzare il linguaggio e il movimento nel cervello, senza mai volgersi a considerare la relazione tra condotta sociale alterata e danni ai lobi frontali. Mi vien fatto qui di ricordare quello che diceva Warren McCulloch: « Quando indico, guardate dove sto indicando, non il mio dito ». (McCulloch, figura leggendaria della neurofisiologia e pioniere di quel campo di studi che poi sarebbe stato definito neuroscienze computazionali, fu anche poeta e profeta: la frase riportata compariva in una profezia). Pochi guardavano nella direzione che Gage stava inconsapevolmente indicando. D'altra parte, è difficile immaginare che qualcuno, ai tempi di Gage, disponesse delle conoscenze *e* dell'audacia necessarie per guardare nella direzione giusta. Era accettabile che non fossero stati toccati dall'asta di ferro i settori del cervello che, se offesi, avrebbero provocato un arresto dell'attività del cuore e dei polmoni; era anche accettabile che si fossero trovati lontani dalla traiettoria della barra, e quindi fossero stati risparmiati, i settori del cervello che controllano lo stato di veglia; era accettabile, infine, che la lesione non avesse tolto coscienza a Gage per un lungo periodo. (L'evento anticipò quella che oggi è conoscenza comune, desunta dallo studio delle ferite alla testa. Qui la variabile critica è la modalità della ferita. Un colpo as-

sai forte può provocare una grande alterazione dello stato di veglia per un periodo prolungato, anche se non viene fratturato alcun osso e nessuna arma penetra nell'encefalo: le forze liberate dal colpo alterano profondamente l'organizzazione cerebrale. Al contrario, un colpo penetrante, nel quale le forze sono concentrate su un cammino stretto e lineare, invece di spandere e accelerare l'encefalo contro la scatola cranica, può causare alterazione delle funzioni solo là dove il tessuto cerebrale è effettivamente distrutto, e così risparmiare le funzioni cerebrali in altri punti). Ma comprendere le trasformazioni del comportamento di Gage voleva dire credere che una condotta sociale normale richieda una particolare regione del cervello che le corrisponde, e questo concetto era assai più impensabile di quelli equivalenti riferiti al movimento, ai sensi o anche al linguaggio.

Il caso di Gage venne impiegato, in effetti, da coloro i quali non credevano che le funzioni mentali potessero essere legate a specifiche aree cerebrali. Dopo una rapida occhiata alle prove mediche, costoro affermarono che se una lesione come quella di Gage poteva non provocare paralisi o menomazioni della parola, allora era evidente che né il controllo motorio né il linguaggio potevano essere ricondotti alle regioni cerebrali – relativamente piccole – nelle quali i neurologi avevano identificato il centro motorio e quello del linguaggio. Essi sostenevano – del tutto erroneamente, come vedremo – che la lesione di Gage avrebbe direttamente offeso quei centri.[7]

Uno dei pochi che si preoccuparono di analizzare con competenza e discernimento i risultati fu il fisiologo inglese David Ferrier.[8] La sua conoscenza di altri casi di lesioni cerebrali con modificazioni del comportamento e gli esperimenti pionieristici che egli stesso aveva condotto su animali, mediante stimolazione elettrica e ablazione della corteccia cere-

brale, lo ponevano in una posizione unica per poter apprezzare quanto Harlow aveva trovato. Ferrier arrivò a concludere che la ferita aveva risparmiato i « centri » motorio e del linguaggio, che aveva danneggiato quella parte che egli stesso aveva chiamato corteccia prefrontale, e che tale danno poteva essere messo in relazione con il particolare cambiamento della personalità di Gage – con espressione pittoresca, Ferrier lo definiva « degradazione mentale ». Le sole voci a sostegno di Harlow e Ferrier, che essi, nei loro mondi affatto separati, possono avere udito, vennero dai seguaci della frenologia.

Digressione sulla frenologia

La disciplina che in seguito sarebbe divenuta nota come « frenologia » mosse i primi passi come « organologia »; fu fondata da Franz Joseph Gall verso la fine del Settecento. Dapprima in Europa, dove incontrò un *succès de scandale* nei circoli intellettuali di Vienna, Weimar, Parigi, e poi in America, dove fu introdotta da Johann Caspar Spurzheim, discepolo e agli inizi amico di Gall, la frenologia prese l'avvio come una singolare mescolanza tra la prima psicologia, i primi abbozzi di neuroscienze e una forma di filosofia pratica. Lungo quasi tutto il diciannovesimo secolo essa influenzò molto la scienza e anche il campo umanistico – sebbene tale influenza non fosse largamente riconosciuta e quanti la subivano badassero bene a prenderne le distanze.

In effetti, alcune delle idee di Gall dovevano essere stupefacenti, per quei tempi: egli infatti dichiarò, in termini decisi, che il cervello era un aggregato di molti organi, ciascuno dei quali dotato di una specifica facoltà psicologica. Gall non solo si staccò dal dualismo allora in

voga, che separava la biologia dalla mente nel suo insieme, ma intuì, correttamente, che in ciò che si chiamava cervello vi erano molte parti, e che vi era una specializzazione, con riferimento alle funzioni proprie di tali parti.[9] Intuizione straordinaria, quest'ultima, dato che la specializzazione del cervello è ora un fatto confermato. Tuttavia egli non si rese conto – ma ciò non deve sorprenderci – che le parti separate del cervello non funzionano indipendentemente l'una dalle altre; esse contribuiscono, invece, al funzionamento di più ampi sistemi composti da quelle parti separate. Ma non si può biasimare Gall per questo: ci sono voluti ben due secoli di studi perché una concezione «moderna» potesse acquistare consistenza. Oggi si può affermare con fiducia che non vi è alcun singolo «centro» per la visione o per il linguaggio, e nemmeno per la ragione, o per il comportamento sociale; vi sono «sistemi» formati da diverse unità cerebrali interconnesse; in termini anatomici, ma non funzionali, tali unità non sono altro che i vecchi «centri» della teoria di stampo frenologico, e questi sistemi sono in effetti devoluti ad attività relativamente separabili che costituiscono la base delle funzioni mentali. È vero anche che le unità cerebrali distinte, in virtù della posizione che occupano in un sistema, apportano componenti diversi al funzionamento del sistema, e perciò non sono interscambiabili. Si noti: quel che determina il contributo di una data unità cerebrale al funzionamento del sistema a cui essa appartiene non è solo la sua struttura, ma anche la sua *localizzazione* nel sistema.

Il sito di un'unità ha un enorme interesse. Questa è la ragione per cui, lungo tutto il libro, tratterò ampiamente di neuroanatomia (cioè di anatomia del cervello), identificherò le diverse

regioni cerebrali e farò appello alla pazienza del lettore perché tolleri la ripetizione dei loro nomi, nonché dei nomi di altre regioni con cui esse sono interconnesse. In diverse occasioni farò riferimento alla funzione presunta di determinate regioni cerebrali, ma il riferimento va inquadrato nel contesto dei sistemi a cui quelle regioni appartengono: non cado nella trappola frenologica! In termini più semplici: la mente è il risultato dell'attività di ciascuno dei componenti separati, e dell'attività concertata dei sistemi multipli costituiti da quei componenti separati.

Ma se a Gall va riconosciuto il merito di avere introdotto il concetto di specializzazione del cervello (idea straordinaria, alla luce delle scarse conoscenze del tempo), egli va biasimato per avere ispirato la nozione di « centri » del cervello. Nel lavoro dei neurologi e dei fisiologi del secolo scorso, questi centri risultarono inscindibilmente associati alle « funzioni mentali ». Meritano di essere criticate anche molte insensate asserzioni della frenologia: per esempio, l'idea che ogni « organo » distinto del cervello generasse facoltà mentali proporzionali alle dimensioni dell'organo, o l'idea che tutti gli organi e le facoltà fossero innati. Concepire la dimensione come un indice della « potenza » o dell'« energia » di una data facoltà mentale è un errore che fa sorridere; e tuttavia alcuni neuroscienziati contemporanei non sono rifuggiti dal farne uso, nel loro lavoro. Ne derivò per estensione la credenza (quella che soprattutto ha screditato la frenologia, e alla quale i più pensano quando sentono questa parola) che gli organi potessero essere identificati dall'esterno grazie a protuberanze rivelatrici nel cranio. Si può riconoscerne l'influenza lungo tutto il corso del secolo diciannovesimo, nella

letteratura e anche in altri àmbiti, così come è stato per l'idea che organi e facoltà siano innati. Nel capitolo 5 si discuterà l'ampiezza di tale errore.

La connessione tra la frenologia e la storia di Phineas Gage merita una menzione speciale. Mentre cercava di documentarsi su Gage, lo psicologo M.B. MacMillan[10] scoprì una traccia riguardante un certo Nelson Sizer; questi appartenne ai circoli frenologici dell'Ottocento, tenne diverse conferenze nel New England, visitò il Vermont agli inizi degli anni Quaranta del secolo scorso, prima dell'incidente di Gage, e nel 1842 incontrò John Harlow. Nel suo libro[11] (per il resto piuttosto noioso) Sizer scrive: « Il dottor Harlow era allora un giovane medico e, in qualità di membro della commissione, presenziò alle nostre conferenze sulla frenologia, nel 1842 ». Vi erano allora, nelle scuole di medicina della fascia orientale degli Stati Uniti, diversi seguaci della frenologia, e Harlow conosceva bene le loro idee. Egli avrebbe potuto sentirle esporre a Philadelphia (autentico rifugio della frenologia), oppure a New Haven, o a Boston, dove Spurzheim era arrivato nel 1832, poco dopo la morte di Gall, per esservi acclamato come guida scientifica e personaggio di richiamo. Il New England poté celebrare e ospitare lo sfortunato Spurzheim solo per poche settimane, ma alla sua morte prematura seguì una non piccola attestazione di gratitudine: la notte stessa dei suoi funerali veniva fondata la Boston Phrenological Society.

Abbia o no Harlow mai avuto occasione di ascoltare Spurzheim, dà da pensare l'apprendere che egli ricevette almeno una lezione di frenologia direttamente da Nelson Sizer mentre questi si trovava a Cavendish (qui era alloggiato – e dove, se no? – all'albergo di Adams).

L'influenza di Sizer spiegherebbe bene la ferma conclusione di Harlow, secondo cui il comportamento di Gage era cambiato a seguito di una specifica lesione cerebrale e non per una generica reazione all'incidente. Harlow però non si affida alla frenologia per una conferma.

Sizer tornò a Cavendish (e di nuovo alloggiò presso l'albergo di Adams – nella stessa stanza dove era stato ricoverato Gage, naturalmente) ed era perfettamente a conoscenza della vicenda di Gage, che menzionò nel suo libro sulla frenologia, scritto nel 1882: « Noi abbiamo studiato il resoconto [fatto da Harlow] del caso del 1848 con interesse vivo e appassionato, né dimentichiamo che l'infelice paziente era ospitato nel medesimo albergo e nella medesima stanza ». Sizer arrivava a concludere che l'asta di ferro era passata « nelle vicinanze della Benevolenza e nella parte frontale della Venerazione ». Benevolenza, Venerazione? Non erano, queste, sorelle in qualche convento di carmelitane; erano invece « centri » frenologici, « organi » del cervello. Benevolenza e Venerazione davano all'individuo proprietà di comportamento, gentilezza, rispetto per gli altri. Sulla base di tale conoscenza si può comprendere l'opinione finale di Sizer: « Sembrava che fosse stato colpito il suo organo della Venerazione, con il probabile risultato della irriverenza ». Quanto era vero!

Una pietra miliare – col senno di poi

Non vi è dubbio che fu una lesione cerebrale circoscritta in un sito specifico a provocare il cambiamento di personalità di Gage; ma questa spiegazione sarebbe apparsa chiara solo due decenni dopo l'incidente, e solo in questo secolo sarebbe divenuta

vagamente accettabile. Per molto tempo quasi tutti – compreso John Harlow – credettero che « la parte di cervello attraversata era, per svariate ragioni, la più adatta di tutte le parti della sostanza cerebrale a reggere il colpo »;[12] in altre parole, una parte del cervello che non faceva molto e che quindi poteva essere sacrificata. Ma nulla poteva essere più lontano dal vero, come lo stesso Harlow scoprì. Nel 1868 egli scriveva che il recupero mentale di Gage « era soltanto parziale, dal momento che le sue facoltà intellettive erano decisamente menomate, seppure non perdute del tutto; nulla di simile alla demenza, ma un indebolimento delle manifestazioni: le sue attività mentali erano perfette come tipo, ma non come grado o quantità ». Il messaggio involontario della vicenda di Gage era che osservare le convenzioni sociali, comportarsi secondo etica e prendere decisioni vantaggiose per la propria sopravvivenza e per progredire richiedono la conoscenza di regole e strategie *e* l'integrità di specifici sistemi cerebrali. Ma questo messaggio difettava dell'evidenza necessaria per renderlo comprensibile e definitivo; esso divenne, invece, un mistero, trasmesso fino a noi come l'« enigma » della funzione dei lobi frontali. Ne scaturivano più numerose le domande che le risposte.

Per cominciare, tutto ciò che sapevamo sulla lesione cerebrale di Gage era che si trovava, probabilmente, nel lobo frontale – che è un po' come dire che Chicago si trova probabilmente negli Stati Uniti: corretto, ma non molto preciso, né di molto aiuto. Accettato che il danno toccasse i lobi frontali, in quale punto esatto di tale regione andava localizzato? Nel lobo sinistro? In quello destro? In entrambi? E anche in qualche altro punto? Come si vedrà nel capitolo seguente, le nuove tecniche di visualizzazione ci hanno aiutato a trovare la risposta.

Veniva poi la natura dell'alterazione del carattere di Gage. Come si sviluppò la sua anormalità? Certo,

la causa prima fu un foro nella testa, ma questo ci spiega il perché, non il come. Un foro in qualsiasi punto del lobo frontale provocherebbe lo stesso risultato? Quale che sia la risposta, con quali mezzi plausibili la distruzione di una regione del cervello potrebbe modificare la personalità? Se nel lobo frontale si trovano regioni specifiche, di che cosa sono fatte, e come operano in un cervello integro? Sono «centri» preposti al comportamento sociale? Oppure sono moduli selezionati nel corso dell'evoluzione, stipati di algoritmi per la soluzione di problemi, pronti a dirci come ragionare e prendere decisioni? In tal caso, come fanno a interagire con l'ambiente, durante lo sviluppo, per consentire il ragionamento e la decisione normali? O tali moduli non esistono?

E attraverso quali meccanismi il processo decisionale di Gage cadde in difetto? Può darsi che le conoscenze necessarie per condurre un ragionamento seguendo un problema fossero state distrutte o rese inaccessibili, cosicché egli non era più in grado di decidere in modo appropriato. È anche possibile che le conoscenze richieste fossero rimaste intatte e accessibili, ma che fossero state compromesse le strategie del ragionamento. In questo caso, quali erano i passi mancanti – o, meglio, quali passi si erano sostituiti a quelli che si ritengono normali? Supposto, poi, di essere tanto fortunati da ricostruire la natura di tali passi, quali ne sono le basi neurali?

Tutte domande che sollecitano la curiosità e l'interesse, ma forse non sono così importanti come quelle che si addensano attorno allo status di Gage come essere umano. Si può riconoscere a Gage libero arbitrio? Aveva il senso di ciò che è giusto o sbagliato, o era vittima della sua nuova configurazione cerebrale, cosicché le sue decisioni gli erano imposte, in modo inevitabile? Era responsabile delle sue azioni? Se si stabilisce che non lo era, possiamo desumere qualcosa riguardo alla responsabilità, in ter-

mini più generali? Siamo circondati da molti Gage, e colpisce che tutti siano precipitati da una condizione di grazia sociale, con modalità simili. Alcuni sono affetti da menomazioni al cervello in conseguenza di tumori, altri a causa di ferite alla testa, altri ancora per disturbi neurologici. Ma poi vi sono quelli che non hanno subìto alcun disturbo neurologico manifesto, e tuttavia si comportano come Gage, per ragioni che hanno a che fare con il loro cervello, o con la società nella quale sono nati. È necessario comprendere la natura di queste persone, le cui azioni possono essere distruttive per loro stesse e per gli altri, se si vuole dare una soluzione umana ai problemi che esse pongono. Né la carcerazione né la pena di morte (che sono alcune delle risposte oggi offerte loro dalla società) contribuiscono a farci capire, o risolvere, il problema. In effetti, dovremmo spingerci oltre e interrogarci sulla nostra responsabilità quando noi, individui «normali», scivoliamo nella irrazionalità che segnò la rovinosa caduta di Phineas Gage.

Gage perdette qualcosa di peculiarmente umano: la capacità di pianificare il proprio futuro come essere sociale. Quanto era consapevole di tale perdita? Si può dire che fosse autocosciente nello stesso senso in cui lo siamo noi? È corretto dire che il suo spirito subì una diminuzione, o che egli l'aveva perduto? E in tal caso, che cosa ne avrebbe pensato Cartesio, se avesse saputo di Gage e avesse potuto conoscere la neurobiologia come oggi noi la conosciamo? Si sarebbe messo a indagare sulla ghiandola pineale di Gage?

2

IL CERVELLO DI GAGE DISVELATO

Il problema

All'incirca nella stessa epoca dell'incidente di Gage, i neurologi Paul Broca in Francia e Karl Wernicke in Germania richiamavano l'attenzione degli ambienti medici con i loro studi su pazienti neurologici colpiti da lesioni al cervello. Entrambi, separatamente, suggerivano che i disturbi del linguaggio comparsi in tali pazienti fossero causati da un danno a una ben circoscritta area encefalica.[1] La menomazione del linguaggio divenne tecnicamente nota come afasia. Broca e Wernicke pensavano che le lesioni rivelassero, in tal modo, il substrato neurale di due differenti aspetti dell'elaborazione del linguaggio negli individui normali. Le loro tesi erano controverse, e non furono approvate di slancio; ma il mondo ascoltò. Gradualmente, con qualche riluttanza e con molte correzioni, finirono con l'essere accettate. Invece il lavoro di Harlow su Gage e, quanto a questo, anche i commenti di David Ferrier non ricevettero mai la stessa attenzione, e non infiammarono mai in egual misura l'immaginazione dei colleghi.

Molte ragioni possono spiegare il perché. Anche

se una certa inclinazione filosofica poteva lasciare pensare che il cervello fosse la base della mente, era difficile accettare il punto di vista secondo cui qualcosa vicino all'anima umana (come il giudizio etico) o legato alla cultura (come la condotta sociale) potesse dipendere in misura significativa da una specifica regione cerebrale. Si aggiunga, poi, il fatto che Harlow era un dilettante, rispetto ai professori Broca e Wernicke, e non poteva accampare le convincenti prove che erano necessarie nel suo caso. Questo era soprattutto evidente nella incapacità di indicare una localizzazione precisa del danno al cervello di Gage. Broca era in grado di affermare con sicurezza in quale punto del cervello si trovava il danno che aveva provocato la menomazione del linguaggio (afasia) nei suoi pazienti: di questi egli aveva esaminato e studiato il cervello al tavolo autoptico. Così anche Wernicke, il quale aveva scoperto, dopo la morte di pazienti con menomazioni del linguaggio, che una parte retrostante del lobo temporale sinistro era parzialmente distrutta – e le manifestazioni linguistiche affette erano diverse da quelle identificate da Broca. Harlow non era stato capace di compiere simili osservazioni: egli non solo dovette azzardare una supposta relazione tra la lesione cerebrale di Gage e le alterazioni del suo comportamento, ma dovette in primo luogo ipotizzare una localizzazione della lesione. Così, non era in grado di provare ad alcuno che egli era nel giusto rispetto ad alcunché.

Ad aggravare l'impaccio di Harlow si aggiungevano le più recenti pubblicazioni di Broca, il quale aveva mostrato che nei suoi pazienti lesioni al lobo frontale sinistro, terza circonvoluzione frontale, erano causa di menomazione del linguaggio (fig. 2.1). L'entrata e l'uscita dell'asta di ferro suggerivano che la lesione al cervello di Gage potesse trovarsi nel lobo frontale sinistro; e però non soffriva di alcuna me-

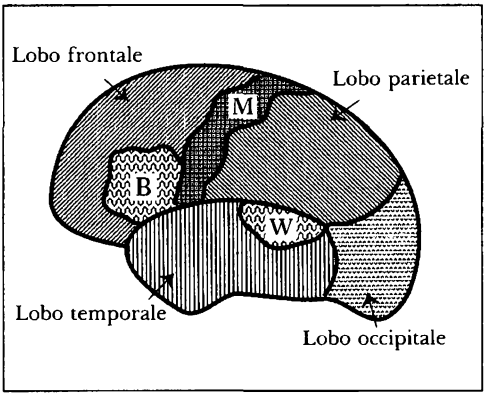

Fig. 2.1 B = area di Broca; M = area motoria; W = area di Wernicke. I critici di Harlow sostenevano che la lesione di Gage aveva toccato l'area di Broca, o l'area motoria, o anche tutt'e due, e sulla base di tale affermazione attaccavano l'idea di una specializzazione funzionale del cervello umano.

nomazione del linguaggio, mentre i pazienti di Broca non mostravano alcuna alterazione del carattere. Come potevano esservi risultati così differenti? Con la scarsa conoscenza di neuroanatomia funzionale che era propria di quel tempo, vi fu chi pensò che le lesioni si trovassero approssimativamente nella stessa posizione, e che i differenti risultati non facessero che rivelare la follia di quanti volevano trovare specializzazioni funzionali nel cervello.

Quando Gage morì, nel 1861, non venne praticata autopsia. Lo stesso Harlow venne a sapere della sua morte solo cinque anni più tardi: l'infuriare della Guerra Civile americana aveva rallentato il propagarsi di notizie di quel genere. Harlow dovette essere rattristato dalla morte di Gage, e tormentato per aver perso l'occasione di studiarne il cervello; tanto che si spinse fino a scrivere alla sorella di Gage per sottoporle una bizzarra richiesta: chiedeva che il corpo fosse esumato in modo che egli po-

tesse averne il cranio e tenerlo a testimonianza del caso.

Ancora una volta, Phineas Gage era l'involontario protagonista di una scena macabra. La sorella e il marito di lei, D.D. Shattuck, insieme con un certo dottor Coon (allora sindaco di San Francisco) e con il medico di famiglia, si rivolsero a un'impresa di pompe funebri, fecero aprire la bara di Gage e ne rimossero il cranio, nonché la barra di ferro (che, come si ricorderà, era stata sepolta con il corpo di Gage); poi li mandarono a Harlow. Da allora cranio e barra si trovano a Boston, nel Warren Medical Museum della Harvard Medical School.

Per Harlow, la possibilità di esibire il cranio e la barra era il massimo che egli potesse fare per stabilire che il suo caso non era stato un parto di fantasia, che era davvero esistito un uomo con quella ferita alla testa. Per Hanna Damasio, circa centoventi anni dopo, il cranio di Gage fu il trampolino per un lavoro di investigazione che completò l'opera non finita di Harlow e consente di gettare un ponte tra Gage e la moderna ricerca sulla funzione dei lobi frontali.

La Damasio cominciò con un curioso esercizio: studiare la traiettoria della barra di ferro. Penetrando nella guancia sinistra, diretto verso l'alto, il ferro attraversò, rompendola, la parte posteriore della cavità orbitaria sinistra, posta immediatamente al di sopra. Proseguendo nel suo moto verso l'alto, esso dovette penetrare nella parte frontale dell'encefalo, in prossimità del piano mediano – anche se era difficile indicare esattamente dove. Siccome sembra che fosse inclinato a destra, potrebbe avere colpito dapprima il lato sinistro e poi un po' sulla destra, mentre muoveva verso l'alto. Il sito iniziale della lesione probabilmente fu la regione orbitaria frontale, direttamente sopra le cavità orbitarie. Nella sua traiettoria, il ferro avrebbe distrutto parte della superficie interna del lobo frontale sinistro, e forse

anche di quello destro. Infine, fuoriuscendo, esso avrebbe leso una parte della regione dorsale (o posteriore) del lobo frontale, sicuramente sul lato sinistro e forse anche sul lato destro.

Questa congettura presentava alcune incertezze evidenti. C'era tutta una gamma di potenziali traiettorie che il ferro avrebbe potuto seguire attraverso un cervello «standard», idealizzato, e non v'era modo di sapere se e quanto tale cervello assomigliasse a quello di Gage. A peggiorare il quadro, si ricordi che anche se la neuroanatomia è gelosa nel tener ferme le relazioni topologiche tra i suoi componenti, vi sono ampie variazioni topografiche da un individuo all'altro, cosicché ogni cervello umano è molto più diverso dagli altri di quanto lo siano tra loro due autovetture della stessa marca. Si pensi, per chiarire meglio questo punto, alla paradossale uniformità e differenza dei volti umani. Qui c'è un numero invariabile di componenti e una disposizione spaziale invariabile (le relazioni topologiche tra i componenti sono le stesse in tutti i volti); eppure questi volti sono infinitamente diversi, e sono singolarmente distinguibili per via di piccole differenze anatomiche di dimensione, profilo e posizione di quelle parti invariabili e della configurazione (la esatta topografia cambia da volto a volto). Quindi la variabilità individuale rendeva più probabile che la congettura della Damasio fosse erronea.

Hanna Damasio continuò sfruttando la moderna neuroanatomia e i più avanzati metodi di visualizzazione del sistema neurale.[2] In particolare, sviluppò e impiegò una nuova tecnica (Brainvox)[3] per ricostruire immagini tridimensionali del cervello di esseri umani viventi, basata sull'elaborazione al calcolatore di dati grezzi ottenuti per scansione ad alta risoluzione del cervello mediante risonanza magnetica. Applicata a soggetti viventi normali o a pazienti neurologici, essa fornisce un'immagine del cervello che non differisce da quella che si vedrebbe

sul tavolo autoptico: una meraviglia strana e inquietante. Che cosa avrebbe fatto, il principe Amleto, se avesse potuto contemplare le sue tre libbre di cervello meditabondo ed esitante, e non soltanto il teschio passatogli dal becchino?

Digressione sull'anatomia del sistema nervoso

Nel capitolo precedente, parlando di frenologia e del legame fra struttura e funzione del cervello, ho accennato all'importanza della neuroanatomia (cioè della anatomia del cervello). Torno a insistervi, adesso, perché questa è la disciplina fondamentale, per le neuroscienze, dal livello dei singoli, microscopici neuroni (cioè le cellule nervose) a quello dei sistemi macroscopici che abbracciano l'intero cervello. In mancanza di una minuziosa conoscenza della sua geografia, a diverse scale, non si può sperare di comprendere i molti livelli di funzioni cerebrali.

Considerando il sistema nervoso nella sua interezza, è facile separarne le divisioni centrali e periferiche. La ricostruzione tridimensionale della figura 2.2 rappresenta il cervello vero e proprio, il componente principale del sistema nervoso centrale. Oltre al cervello, con i suoi due emisferi cerebrali, destro e sinistro, uniti dal corpo calloso (un fitto aggregato di fibre nervose che collegano bidirezionalmente i due emisferi), il sistema nervoso centrale comprende anche il diencefalo (una formazione di nuclei, nascosta sotto gli emisferi, sul piano mediano, comprendente il talamo e l'ipotalamo), il mesencefalo, il midollo allungato, il cervelletto e il midollo spinale.

Il sistema nervoso centrale è « neuralmente »

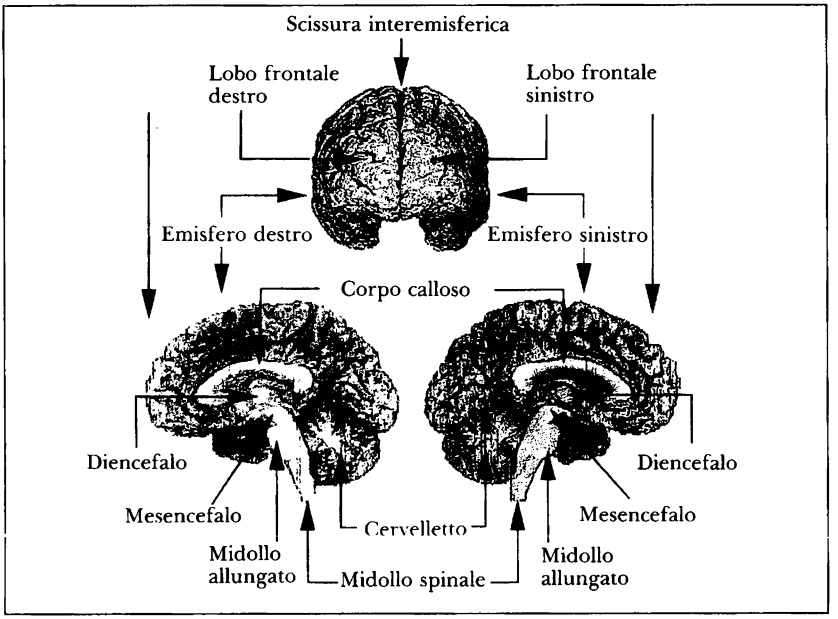

Fig. 2.2 Il cervello umano ricostruito in tre dimensioni. L'immagine in alto al centro mostra il cervello visto di fronte; il corpo calloso è nascosto sotto la scissura interemisferica. Le immagini in basso, a sinistra e a destra, mostrano i due emisferi cerebrali separati, con l'indicazione delle principali strutture anatomiche. La copertura a circonvoluzioni degli emisferi è la corteccia cerebrale.

connesso con pressoché ogni angolo e recesso dal resto del corpo, tramite i nervi: l'insieme di questi costituisce il sistema nervoso periferico. I nervi convogliano gli impulsi dal cervello al corpo e dal corpo al cervello. Come si vedrà meglio nel capitolo 5, tuttavia, cervello e corpo sono anche interconnessi chimicamente, mediante sostanze quali gli ormoni e i peptidi, che sono emessi dall'uno e raggiungono l'altro attraverso il flusso sanguigno.

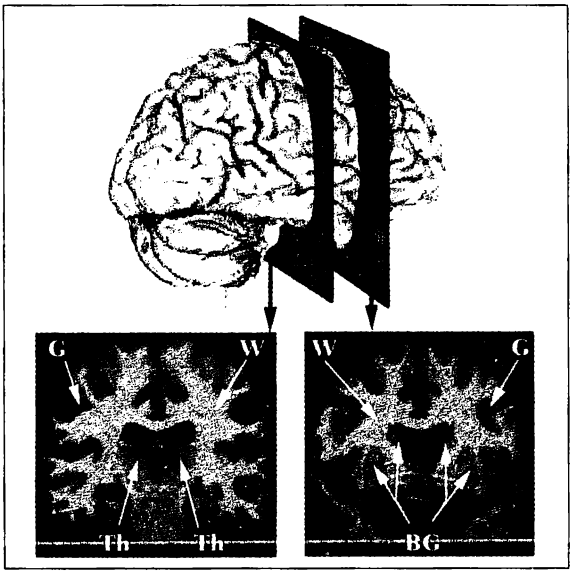

Fig. 2.3 Due sezioni di un cervello umano vivente ricostruito, ottenute mediante risonanza magnetica e mediante la tecnica Brainvox. L'immagine in alto al centro identifica i piani delle sezioni. Si riconosce facilmente la differenza tra sostanza grigia (G) e bianca (W): la prima è ben evidente nella corteccia cerebrale (è il bordo grigio che contorna ogni fessura e ogni protuberanza della sezione) e nei nuclei profondi come i gangli basali (BG) e il talamo (Th).

Una sezione del sistema nervoso centrale permette di comprendere senza difficoltà la differenza tra settori scuri e settori pallidi (fig. 2.3). I primi sono noti come sostanza grigia, anche se in realtà il loro colore di solito è bruno, piuttosto che grigio; i secondi sono noti come sostanza bianca. La sostanza grigia corrisponde in larga misura a raccolte di corpi cellulari (di cellule nervose), mentre la sostanza bianca corrisponde in larga misura ad assoni, o fibre ner-

vose, uscenti dai corpi cellulari nella sostanza grigia.

Quest'ultima si presenta in due varietà. In una i neuroni sono disposti a strati, come in una torta, e formano una *corteccia*: ne sono esempi la corteccia cerebrale, che copre gli emisferi cerebrali, e la corteccia cerebellare, che avvolge il cervelletto. Nella seconda varietà di sostanza grigia, i neuroni non sono stratificati, ma sono invece organizzati come noci di acagiù in una ciotola: essi formano un *nucleo*. Vi sono nuclei grandi come il caudato, il putamen e il *globus pallidus*, celati nella profondità di ciascun emisfero, o l'amigdala, nascosta all'interno di ciascun lobo temporale; vi sono ampie raccolte di nuclei più piccoli, come quelli che formano il talamo; e poi piccoli nuclei singoli, come il *locus niger* o il *nucleus ceruleus*, nel midollo allungato.

La struttura alla quale le neuroscienze hanno dedicato il massimo impegno di studio è la corteccia cerebrale: la si può immaginare come un rivestimento che copre tutte le superfici del cervello, comprese quelle situate nella profondità delle fenditure note come scissure e solchi, che danno al cervello il suo caratteristico aspetto ripiegato (fig. 2.2). Questo rivestimento è spesso circa 3 millimetri ed è formato da diversi strati, paralleli tra loro e alla superficie del cervello (fig. 2.4). Tutta la sostanza grigia che si trova sotto la corteccia (i nuclei, grandi o piccoli, e la corteccia cerebellare) è denominata subcorticale. Si chiama neocorteccia (o neopallio) la parte più giovane – in senso evolutivo – della corteccia cerebrale. La maggior parte della corteccia evolutivamente più antica è nota come corteccia limbica (si veda più avanti). Nel corso dell'esposizione, farò riferimento di solito o alla corteccia cerebrale (intendendo la neocor-

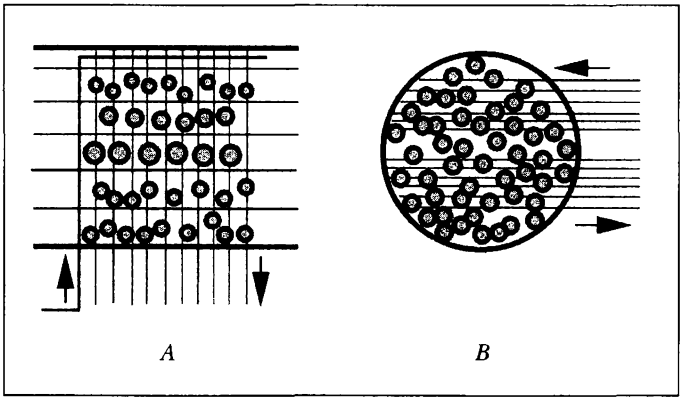

Fig. 2.4 *A* = schema dell'architettura cellulare della corteccia cerebrale, con la sua tipica struttura a strati; *B* = schema dell'architettura cellulare di un nucleo.

teccia) o alla corteccia limbica e ad alcune sue parti specifiche. La figura 2.5 rappresenta una mappa (di uso frequente) della corteccia cerebrale, in cui sono indicate le diverse aree citoarchitettoniche – cioè sono distinte le regioni aventi architettura cellulare differente. È nota come mappa di Brodmann, e le sue aree sono contraddistinte da numeri.

Una divisione del sistema nervoso centrale alla quale farò più volte riferimento è quella, sia corticale sia subcorticale, che è nota come sistema limbico. (Il termine è un po' un'etichetta generale per un certo numero di strutture evolutivamente antiche: molti neuroscienziati sono riluttanti a usarlo, ma sovente si rivela utile). Le strutture principali che lo costituiscono sono il giro del cingolo, nella corteccia cerebrale, e l'amigdala e il prosencefalo basale, due collezioni di nuclei.

Il tessuto nervoso (o neurale) è costituito da

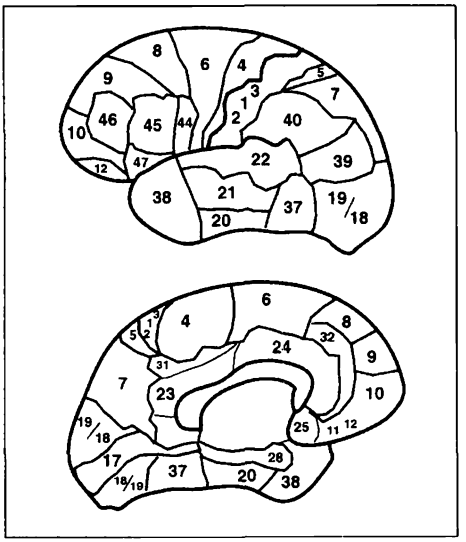

Fig. 2.5 Mappa delle principali aree del cervello individuate da Brodmann nei suoi studi dell'architettura cellulare (citoarchitettura). La figura serve solo come riferimento anatomico, non è una mappa frenologica né una mappa dell'epoca con la rappresentazione delle funzioni cerebrali. Alcune aree sono troppo piccole per poter essere riportate qui, oppure si trovano nascoste nelle profondità di solchi e scissure. In alto, l'aspetto esterno dell'emisfero sinistro; in basso, l'aspetto interno.

cellule nervose (neuroni) sostenute da cellule gliali (gliociti). I neuroni sono le cellule essenziali per l'attività cerebrale e in ogni cervello ve ne sono a miliardi; sono organizzati in circuiti locali i quali, a loro volta, costituiscono le regioni corticali (se sono disposti in strati) o i nuclei (se sono riuniti in insiemi non stratificati). Infine, i nuclei e le regioni corticali sono interconnessi in modo da formare sistemi, e sistemi di sistemi, a livelli via via più alti di complessità. In termini di scala, tutti i neuroni e i circuiti

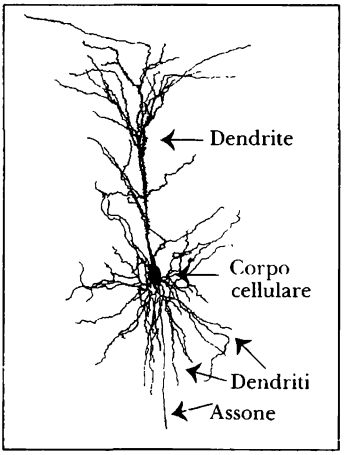

Fig. 2.6 Un neurone con i suoi componenti principali: corpo cellulare, assone, dendriti.

locali sono microscopici, mentre le regioni corticali, i nuclei e i sistemi sono macroscopici.

Il neurone è costituito da tre importanti componenti: il corpo cellulare; il prolungamento principale in uscita, una fibra nervosa detta assone o cilindrasse; i prolungamenti in entrata, le fibre nervose dette dendriti (fig. 2.6). I neuroni sono collegati tra loro in circuiti in cui si riconoscono gli equivalenti dei fili conduttori (le fibre degli assoni) e dei connettori (le sinapsi, cioè i punti in cui gli assoni sono in contatto con i dendriti di altri neuroni).

Quando i neuroni diventano attivi (« scaricano » o « sono eccitati », nel gergo delle neuroscienze), dal corpo cellulare si propaga lungo l'assone una variazione di potenziale elettrico, o potenziale di azione. Arrivato a una sinapsi, questo innesca l'emissione di particolari sostanze chimiche note come neurotrasmettitori

(un esempio è il glutammato). A loro volta, i neurotrasmettitori operano sui recettori. In un neurone eccitatorio, l'interazione in cooperazione con molti altri neuroni le cui sinapsi sono adiacenti, e che possono liberare oppure no i propri neurotrasmettitori, determina se il prossimo neurone sarà eccitato oppure no, cioè se esso produrrà il proprio potenziale di azione, con la conseguente emissione dei propri neurotrasmettitori, e così di seguito.

Le sinapsi possono essere forti o deboli. La forza di una sinapsi determina se e quanto facilmente gli impulsi continueranno a propagarsi verso il neurone successivo. In generale, in un neurone eccitatorio, una sinapsi forte facilita il cammino degli impulsi, mentre una sinapsi debole lo ostacola o lo arresta.

È opportuno qui fare un accenno alla natura della connettività tra neuroni. Non pochi scienziati, quando si trovano di fronte alla complessità delle connessioni tra neuroni, disperano di riuscire, un giorno, a comprendere il cervello. Alcuni preferiscono nascondersi dietro la considerazione che ogni cosa si connette con ogni altra cosa e che il comportamento, con buona probabilità, emerge da tale volente o nolente connettività in modi che la neuroanatomia non saprà mai rivelare. Ma costoro, per fortuna, si sbagliano. E infatti, si osservi che ogni neurone forma, in media, un migliaio di sinapsi (anche se ve ne sono con 5000 o 6000 sinapsi). Può sembrare un numero grande, ma quando si pensa che vi sono più di 10 miliardi di neuroni e più di 10000 miliardi di sinapsi, ci si rende conto che ogni singolo neurone è moderatamente connesso. Si prendano – a caso, o seguendo le proprie preferenze anatomiche – alcuni neuroni della corteccia o dei nuclei, e si

troverà che ognuno di essi « parla » con pochi altri. In effetti, molti neuroni parlano solo con altri neuroni che non sono molto distanti nell'àmbito di circuiti relativamente locali di nuclei e regioni corticali; altri, seppure dotati di assoni che si protendono per diversi millimetri (o addirittura per centimetri) nel cervello, entreranno in contatto soltanto con un numero relativamente piccolo di altri neuroni. La conseguenza principale di tale disposizione è che qualsiasi cosa i neuroni facciano dipende dal gruppo di neuroni che li circonda e di cui fanno parte; che qualsiasi cosa i sistemi facciano dipende dal modo in cui i gruppi influenzano altri gruppi, in un'architettura di gruppi interconnessi; che qualsiasi contributo di ciascun gruppo alla funzione del sistema cui appartiene dipende dal posto che occupa in tale sistema. In altre parole, la specializzazione del cervello cui si è fatto cenno nella « Digressione sulla frenologia » del capitolo 1 è una conseguenza del posto occupato da raggruppamenti di neuroni connessi in modo rado all'interno di un sistema a più ampia scala.

In breve: il cervello è un supersistema di sistemi. Ognuno di questi è composto da una elaborata interconnessione di regioni corticali e nuclei subcorticali, piccoli ma macroscopici,

Livelli di architettura neurale

Neuroni
Circuiti locali
Nuclei subcorticali
Regioni corticali
Sistemi
Sistemi di sistemi

che sono fatti di microscopici circuiti locali; questi ultimi sono fatti di neuroni, i quali sono tutti interconnessi mediante sinapsi. (Non di rado si trovano i termini « circuiti » e « rete » impiegati come sinonimi di « sistema »; è bene precisare se si fa riferimento alla scala micro- o macroscopica. Nel presente libro, salvo indicazione diversa, i sistemi sono macroscopici e i circuiti sono microscopici).

La soluzione

Dal momento che per Phineas Gage non si poteva ricorrere alla scansione, Hanna Damasio pensò a un approccio indiretto al suo cervello. Per far questo, si procurò l'aiuto di Albert Galaburda, un neurologo della Harvard Medical School, il quale andò al Warren Medical Museum e fotografò con molta cura il cranio di Gage da differenti angolazioni; inoltre misurò le distanze tra le zone ossee colpite dalla barra e alcuni punti di riferimento standard sul cranio.

L'analisi di queste fotografie, combinata con le descrizioni della ferita, consentì di restringere la gamma delle possibili traiettorie della barra. Inoltre le fotografie consentirono alla Damasio e a un suo collega neurologo, Thomas Grabowski, di ricreare il cranio di Gage in coordinate tridimensionali, e di ricavarne le più probabili coordinate di un cervello che si adattasse a tale cranio. A questo punto subentrò un altro collaboratore, Randall Frank, un ingegnere, il cui contributo consentì di compiere una simulazione in un calcolatore di grande potenza. Essi riprodussero una barra di ferro tridimensionale con le stesse misure di quella di Gage, e la « infilzarono » in un cervello – prossimo per forma e dimensioni a quello di Gage – secondo le possibili traiettorie che essa avrebbe potuto seguire nell'incidente. Le figure 2.7 e 2.8 mostrano i risultati.

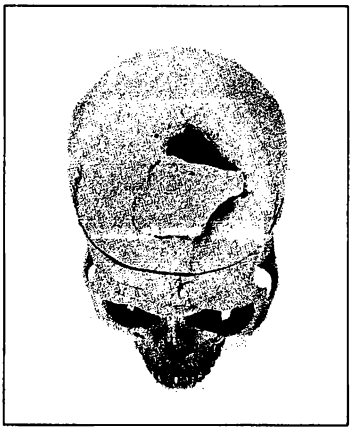

Fig. 2.7 Fotografia del cranio di Skull, fatta nel 1992.

Adesso siamo in grado di confermare l'asserzione di David Ferrier, secondo la quale, anche se una parte non trascurabile di cervello andò perduta, la barra non toccò le regioni cerebrali necessarie per il linguaggio o per la funzione motoria. (Le aree intatte di entrambi gli emisferi comprendevano le cortecce motoria e premotoria, come pure l'opercolo frontale, sul lato sinistro noto come area di Broca). Si può affermare con sicurezza che il danno fu più esteso sul lato sinistro che su quello destro, e nei settori anteriori anziché in quelli posteriori della regione frontale nel suo insieme. Il danno compromise le cortecce prefrontali per lo più nelle superfici ventrale e interna di entrambi gli emisferi, risparmiando invece in larga parte il fronte laterale, o esterno, delle cortecce prefrontali.

In Gage fu sicuramente danneggiata parte di una regione che dalle nostre più recenti osservazioni si rivela critica per il processo di decisione in condizioni normali, cioè la regione prefrontale ventromediana. (Nella terminologia neuroanatomica, la

regione orbitaria è nota anche come regione ventromediana del lobo frontale, e questo è il termine che io userò nel seguito. Tale regione è, per così dire, il « bassoventre » del lobo frontale; « mediana » indica prossimità al piano mediano o alla superficie interna di una struttura). La ricostruzione rivelò che in Gage non furono danneggiate regioni ritenute vitali per altri aspetti della funzione neuropsicologica. Per esempio, rimasero intatte le cortecce sulla faccia laterale del lobo frontale; un danno arrecato a esse distrugge la capacità di controllare l'attenzione, di eseguire calcoli e di passare opportunamente, quando occorre, da uno stimolo all'altro.

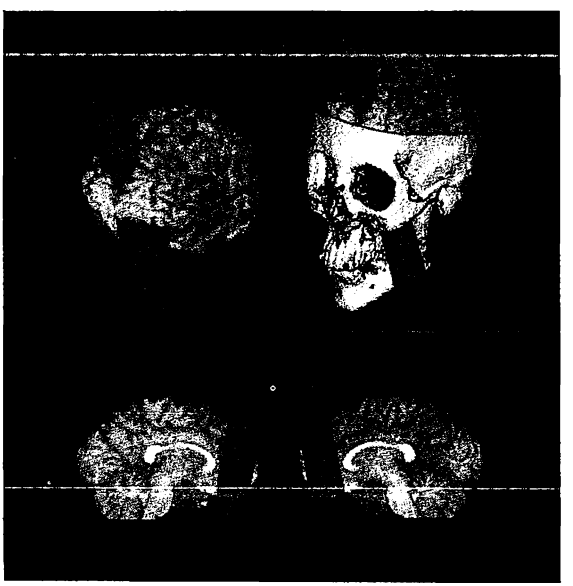

Fig. 2.8 In alto, ricostruzione del cervello e del cranio di Gage con la possibile traiettoria della barra di ferro. In basso, vista dall'interno dei due emisferi cerebrali, per mostrare come la barra lese le strutture dei lobi frontali su entrambi i lati.

Questa moderna ricerca permise di trarre alcune conclusioni. La Damasio e i suoi colleghi poterono affermare con qualche fondamento che era stato un danno selettivo alle cortecce prefrontali del cervello di Phineas Gage quello che aveva compromesso la sua capacità di comportarsi nel rispetto delle regole sociali a lui note in precedenza, di decidere la linea di condotta capace di risultare alla fine la più vantaggiosa per la sua sopravvivenza, di pianificare il proprio futuro. Quel che mancava, adesso, era la conoscenza del possibile modo di operare della mente di Gage quando egli si comportava nel modo rovinoso che effettivamente mostrò dopo l'incidente; ma per questo occorreva esaminare, e studiare, le controparti moderne di Gage.

3

UN MODERNO PHINEAS GAGE

Non molto tempo dopo che io ebbi cominciato a esaminare pazienti il cui comportamento era simile a quello di Gage, ogni volta sbalordito dagli effetti che poteva produrre un danno all'area prefrontale (sto parlando di un buon ventennio fa), mi fu chiesto di visitare un paziente nel quale tale condizione si presentava in forma particolarmente pura. A quanto mi fu detto, la personalità di questo paziente aveva subìto un cambiamento radicale, e i medici che me ne riferirono volevano soprattutto sapere se ciò fosse una vera infermità. Elliot (lo chiamerò così) era allora trentenne;[1] non più in grado di tenere un posto di lavoro, viveva affidato alla custodia di un fratello; ma ora si poneva il problema che a Elliot non veniva riconosciuto il diritto a riscuotere l'assegno di invalidità. Per quel che si poteva vedere, egli era un individuo intelligente, capace, sano: doveva tornare in senno e rimettersi a lavorare. Diversi professionisti avevano dichiarato che le sue facoltà mentali erano integre, intendendo con questo che Elliot era nella migliore delle ipotesi un pigro, e nella peggiore un simulatore.

Lo visitai subito, e ne fui colpito: era una persona piacevole e interessante, dotata di un fascino profondo ma controllata nelle sue emozioni. Mostrava una compostezza riguardosa e piena di tatto, appena contraddetta da un lieve sorriso ironico indicante una saggezza superiore e una blanda condiscendenza verso le follie del mondo; appariva freddo, distaccato, imperturbabile, anche nel discutere di vicende personali che avrebbero potuto metterlo in imbarazzo. A me venne fatto di pensare a George Sanders quando impersona Addison DeWitt nel film *Eva contro Eva*.

Ma oltre a essere coerente e lucido, Elliot mostrava chiaramente di sapere ciò che accadeva attorno a lui. Poteva citare a menadito date, nomi, particolari; commentava i fatti della politica con l'ironia che questi spesso meritano e sembrava comprendere bene la situazione economica generale. La sua conoscenza del settore nel quale aveva lavorato rimaneva solida. A me era stato detto che le sue capacità erano immutate, e ciò appariva plausibile. Ricordava perfettamente le vicende della propria vita, compresi gli ultimi, strani eventi – e in realtà erano successe le cose più strane.

Elliot era stato, prima, un buon marito e un buon padre; aveva avuto un impiego in un rinomato studio legale, e ovunque aveva rappresentato un modello, per fratelli e colleghi. Aveva raggiunto, insomma, una condizione invidiabile, sia personale sia professionale e sociale. Ma a un certo punto la sua vita cominciò a disfarsi. Era assalito da violenti mali di capo, e concentrarsi gli riusciva sempre più difficile; inoltre, con il peggiorare della sua condizione, sembrava perdere ogni senso di responsabilità, cosicché il suo lavoro doveva essere completato o corretto. Il medico di famiglia sospettò che la causa potesse essere un tumore al cervello, e purtroppo il sospetto si rivelò fondato.

Il tumore era esteso e cresceva rapidamente; al-

l'epoca in cui fu diagnosticato, aveva raggiunto le dimensioni di una piccola arancia. Si trattava di un meningioma – così chiamato perché si sviluppa dalle meningi, le membrane che rivestono la superficie del cervello. In seguito appresi che il tumore di Elliot aveva cominciato a crescere nell'area mediana, proprio sopra le cavità nasali, e sopra il piano formato dal tetto delle orbite. Crescendo, il tumore comprimeva dal basso entrambi i lobi frontali, spingendo verso l'alto.

In generale i meningiomi sono benigni, per quanto riguarda la natura del tessuto tumorale; ma se non vengono rimossi per via chirurgica possono essere fatali quanto quelli maligni: infatti, continuando a comprimere, nella loro crescita, il tessuto cerebrale, finiscono con l'ucciderlo. Per sopravvivere, Elliot doveva essere sottoposto a intervento chirurgico.

Fu quindi operato, da un'eccellente équipe medica, e il tumore fu rimosso; inoltre, come si fa di solito in questi casi, si dovette rimuovere anche il tessuto dei lobi frontali che era stato danneggiato dal tumore. L'operazione fu un successo sotto ogni punto di vista, e le prospettive erano ottime, dal momento che tali tumori non hanno la tendenza a riprodursi. Quello che si sarebbe rivelato meno fausto fu il cambiamento di personalità del paziente, che cominciò a manifestarsi durante la convalescenza, e in modi tali da lasciare sbalorditi familiari e amici. Le sue doti intellettuali e la sua capacità di muoversi e di usare il linguaggio erano intatte; e tuttavia per molti versi Elliot non era più Elliot.

Seguiamo la sua giornata dall'inizio: al mattino, aveva bisogno di essere sollecitato per mettersi in movimento e prepararsi per andare al lavoro. Qui giunto, non era capace di amministrare correttamente il proprio tempo: non si poteva fare affidamento su di lui, in fatto di scadenze. Quando il lavoro richiedeva di interrompere un'attività per pas-

sare a un'altra, accadeva spesso che egli continuasse con la prima, perdendo di vista, a quanto sembrava, lo scopo principale; oppure capitava che interrompesse l'attività nella quale era impegnato per volgersi a un'altra che in quel momento lo attirava di più. Se, per esempio, il suo compito avesse richiesto di leggere e classificare i documenti di un certo cliente, egli certamente li avrebbe letti, ne avrebbe compreso appieno il significato e il valore, e certamente avrebbe saputo come selezionarli e ordinarli in base alla analogia o diversità di contenuto. Ma – e qui stava il problema – era probabile che d'improvviso abbandonasse il lavoro di selezione che aveva cominciato per mettersi a leggere, con attenzione e intelligenza, uno di quei documenti, magari dedicandovi l'intera giornata. Oppure, poteva passare tutto il pomeriggio a sceverare quale criterio di ordinamento fosse il più opportuno: in base alla data, alla lunghezza del documento, alla pertinenza con il caso? E intanto il flusso del lavoro si interrompeva. Si potrebbe dire che il particolare segmento di lavoro sul quale Elliot si era impuntato veniva eseguito *troppo bene*, a scapito dell'intento complessivo. Si potrebbe anche dire che Elliot diveniva irrazionale rispetto al più ampio quadro di comportamento, che riguardava le sue priorità principali, mentre in quadri più ristretti, attinenti a compiti sussidiari, le sue azioni erano molto più minuziose di quanto fosse necessario.

Le sue conoscenze di base erano sopravvissute, a quanto sembrava, ed egli era in grado di compiere bene come prima molte azioni separate; ma non si poteva far conto su Elliot perché eseguisse un'azione appropriata quando ce lo si aspettava. Si comprende, quindi, come egli perdesse il lavoro, dopo che ripetuti consigli e richiami da parte di colleghi e superiori erano rimasti inascoltati. La vita di Elliot si era avviata su una china diversa.

Non più legato a un impiego regolare, si lanciò in

nuovi passatempi e in affari rischiosi. Per esempio, gli venne la mania del collezionismo; niente di male, in questo, ma certo un'abitudine poco pratica quando ciò che si colleziona sono scarti e rifiuti. Le sue nuove attività spaziavano dall'edilizia alla gestione di investimenti. In una delle sue imprese, si associò con un tizio tutt'altro che raccomandabile, e a nulla servì che gli amici lo mettessero in guardia. Finì con l'inevitabile bancarotta, nella quale perse tutti i risparmi che vi aveva investito. Era sconcertante vedere un uomo come Elliot, con il suo passato, imbarcarsi in affari e in decisioni finanziarie così malcerti.

La moglie, i figli e gli amici non riuscivano a capire come mai una persona tanto accorta, e per di più opportunamente preavvertita, potesse agire in modo così sciocco; alcuni non ressero. Vi fu un primo divorzio, seguito da un breve matrimonio con una donna che né la famiglia né gli amici approvavano; quindi un altro divorzio. Privo di qualunque fonte di reddito, continuò ad andare sempre più alla deriva, fino a che, come ultimo colpo per coloro i quali ancora si preoccupavano di lui e seguivano le sue vicende, giunse il rifiuto dell'assegno sociale di invalidità.

A Elliot fu ripristinata l'assistenza. Io spiegai che causa dei suoi fallimenti era una condizione neurologica: certo, era ancora fisicamente abile e le sue facoltà mentali erano in massima parte integre; ma era menomata la sua capacità di giungere a una decisione, e anche la capacità di fare un programma efficace per le ore a venire – non si dica, poi, per i mesi o gli anni del suo futuro. Niente a che vedere, in questi cambiamenti, con le modificazioni di giudizio che possono capitare a ciascuno di noi, di tanto in tanto. Individui di normale intelligenza e con un grado di istruzione confrontabile con quello di Elliot commettono, certo, errori e prendono a volte decisioni sbagliate, ma non con esiti così sistemati-

camente nefasti. In Elliot i cambiamenti avevano ampiezza maggiore ed erano segno di infermità: non erano conseguenza di una precedente debolezza di carattere, e sicuramente non erano sotto il controllo volontario del paziente. Molto semplicemente, la loro causa, alla radice, era un danno a un particolare settore del cervello. Per di più, essi avevano carattere cronico: la condizione di Elliot non era transitoria, ma si sarebbe mantenuta.

Con questo soggetto, sano e intelligente, la tragedia era che, pur non essendo né stupido né ignorante, egli agiva come se lo fosse. L'elaborazione dei suoi processi decisionali era talmente compromessa che egli non poteva più porsi come un essere sociale efficiente. Anche di fronte ai risultati catastrofici delle sue decisioni, Elliot non imparava dai suoi errori: sembrava che fosse oltre ogni possibile redenzione, come il malfattore incallito che dichiara il proprio sincero rincrescimento, ma subito dopo torna a commettere l'ennesimo reato. È corretto affermare che era stato compromesso il suo libero arbitrio, e spingersi a dire, in risposta alla domanda da me posta riguardo a Gage, che anche quello di Gage lo era stato.

Sotto certi aspetti, Elliot era un nuovo Phineas Gage: come Gage, egli era precipitato da uno stato di grazia sociale; ormai incapace di ragionare e di decidere per garantire e migliorare la condizione propria e della propria famiglia, non era più un essere umano indipendente. E come in Gage, anche in lui si era sviluppata la mania del collezionismo. Vi erano, però, anche alcune differenze. Elliot era meno veemente di quanto sembra fosse stato Gage, né mai si abbandonò a imprecazioni e oscenità; non sono ancora in grado di rispondere con fondamento empirico alla domanda se tale diversità corrisponda a lievi differenze di localizzazione delle rispettive lesioni o a differenze di formazione socioculturale, di età, di personalità prima dell'incidente.

Ancor prima di studiare il cervello di Elliot con le moderne tecniche di visualizzazione, sapevo che il danno toccava la regione del lobo frontale: era l'unica indicata dal suo profilo neuropsicologico. Come si vedrà nel capitolo 4, un danno in altri punti (per esempio nella corteccia somatosensitiva sul lato destro) può compromettere la capacità di decisione, ma in tali casi sono presenti altri deficit concomitanti (una grave paralisi, disturbi dell'elaborazione delle sensazioni). L'analisi mediante tomografia computerizzata e mediante risonanza magnetica consentì di capire che erano stati lesi entrambi i lobi frontali – destro e sinistro – e che il danno era molto più grande a destra che a sinistra. In effetti, la superficie esterna del lobo frontale sinistro era illesa: il danno era localizzato all'interno dei settori orbitario e mediano. Questi erano lesi anche sul lato destro, ma qui in più era distrutto il nucleo del lobo (la sostanza bianca sotto la corteccia cerebrale), con il risultato di rendere funzionalmente non più operante larga parte delle cortecce frontali sul lato destro.

Su entrambi i lati non erano danneggiate le parti del lobo frontale connesse con il controllo dei movimenti (cioè le regioni motoria e premotoria). Né ciò risultò sorprendente: infatti i movimenti di Elliot erano del tutto normali. Erano anche intatte, come previsto, le cortecce frontali connesse con il linguaggio (area di Broca e zone circostanti). Infine, era intatta anche la regione posta appena sotto la base del lobo frontale, il prosencefalo basale, che è tra quelle necessarie per l'apprendimento e la memoria: se fosse stata lesa, la memoria di Elliot ne sarebbe stata compromessa.

Vi era indicazione di altri danni al cervello di Elliot? La risposta è un reciso no. Tanto nell'emisfero destro quanto in quello sinistro, le regioni temporale, occipitale e parietale erano illese, e lo stesso poteva dirsi per i grandi nuclei di sostanza grigia al di

sotto della corteccia, inclusi i gangli basali e il talamo. Quindi il danno era confinato alle cortecce prefrontali: in particolare il settore ventromediano di queste ne aveva subìto la parte maggiore, proprio come nel caso di Gage. In Elliot, però, il danno era più esteso sul lato destro che su quello sinistro.

Si potrebbe concludere che andò distrutta solo una piccola parte di cervello; questo rimase per larga misura intatto. Ma non è l'entità, la quantità del danno che importa, quando se ne debbano considerare le conseguenze. Il cervello non è un'unica, grande massa di neuroni che fanno tutti la stessa cosa, quale che sia la posizione che occupano. Sia in Gage sia in Elliot, le strutture lese erano quelle che sono necessarie perché il ragionamento culmini nella decisione.

Una nuova mente

La solidità dell'intelletto di Elliot mi colpì molto, ricordo; ma ricordo anche di aver pensato che molti altri pazienti colpiti da lesioni al lobo frontale davano la stessa impressione di solidità, mentre erano avvenuti sottili cambiamenti dell'intelletto, che solo particolari test neurofisiologici potevano rivelare. Il loro comportamento alterato era stato attribuito spesso a difetti della memoria o dell'attenzione; ma Elliot mi avrebbe presto liberato da tale illusione.

In precedenza, Elliot era stato esaminato in un altro istituto, e qui avevano espresso l'opinione che non vi fosse indizio alcuno di « sindrome cerebrale organica »: in altre parole, sottoposto agli usuali test di intelligenza, Elliot non mostrava alcun segno di menomazione. Il suo quoziente di intelligenza (QI) ricadeva nella fascia superiore, e anche la valutazione compiuta con la scala WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale) non indicava alcuna anormalità. Si trovò che i suoi problemi non erano il risultato di

« affezione organica » o di « disfunzione neurologica » (affezioni del cervello, in altre parole), ma che riflettevano invece problemi di adattamento « emotivo » e « psicologico » (in altre parole, turbe mentali), trattabili quindi con la psicoterapia. Solo dopo il fallimento di una serie di sedute di psicoterapia, Elliot fu assegnato alla nostra unità. (La distinzione tra malattie del « cervello » e della « mente », tra disturbi « neurologici » e disturbi « psicologici » o « psichiatrici », è una malaugurata eredità culturale che permea la società e la medicina: essa riflette un'ignoranza radicale della relazione tra cervello e mente. I disturbi del cervello sono visti come tragedie inflitte a individui che non possono essere biasimati per la loro condizione, mentre quelli mentali, specie se influiscono sulla condotta e sulle emozioni, sono visti come disagi sociali dei quali chi ne soffre deve in buona misura rispondere. A chi ne risente devono rimproverarsi le pecche caratteriali, una carente modulazione delle emozioni e simili colpe; si ritiene che il problema consista soprattutto nella mancanza di forza di volontà).

Il lettore potrebbe benissimo chiedersi se le precedenti valutazioni mediche fossero errate. È concepibile che un individuo con le menomazioni di Elliot possa rispondere bene ai test psicologici? La risposta è: sì. Pazienti che presentano vistose anormalità del comportamento sociale possono rispondere in modo normale a molti test di intelligenza, a volte alla maggioranza di essi: è una realtà frustrante, che da decenni angustia tanto il clinico quanto chi esegue i test. Può esservi un'affezione al cervello senza che i test di laboratorio misurino menomazioni significative. Ma il problema non sta nei pazienti, sta nei test, che non si indirizzano in modo adeguato alle particolari funzioni compromesse, e così non riescono a misurare alcun declino. Conoscendo lo stato di Elliot e la sua lesione, predissi che egli sarebbe risultato normale nella

maggior parte dei test psicologici, ma anormale in un piccolo numero di test sensibili a disfunzioni delle cortecce frontali. Come si vedrà fra poco, Elliot doveva sorprendermi.

I test psicologici e neuropsicologici di tipo standard rivelarono un intelletto superiore.[2] In ogni singolo subtest del WAIS, Elliot mostrò capacità superiori o pari alla media. Risultò superiore la memoria immediata per i numeri, la memoria verbale a breve termine e la memoria visiva per i disegni geometrici; risultò normale la capacità di richiamo ritardato di figure complesse e parole dall'elenco di Rey, e anche la sua prestazione nel Multilingual Aphasia Examination – una batteria di test che valuta diversi aspetti della produzione e della comprensione del linguaggio. Nel test standard di Benton per il giudizio di discriminazione di volti e di orientamento di linee, in quelli per l'orientazione geografica e la costruzione di blocchi bi- e tridimensionali, la sua capacità di costruzione e di percezione visiva risultò normale. Normale anche la copiatura di una figura complessa di Rey-Osterrieth.

Elliot fornì prestazioni normali anche nei test di memoria che prevedevano procedure di interferenza. Uno di questi richiedeva di ricordare gruppi triconsonantici a distanza di tre, nove e diciotto secondi, dovendo nel contempo contare a ritroso; un altro, di ricordare gli elementi di un elenco dopo un intervallo di quindici secondi speso nell'eseguire calcoli. Per lo più, i pazienti con lesioni ai lobi frontali danno risposta anormale; Elliot rispose bene in entrambi i casi, con una precisione, rispettivamente, del 100 e del 95 per cento.

In breve, erano integre la capacità percettiva, la memoria del passato, la memoria a breve termine, l'apprendimento di nuovi contenuti, il linguaggio e la capacità aritmetica; anche l'attenzione, cioè la capacità di concentrarsi su un particolare contenuto mentale escludendo gli altri, e la memoria operati-

va, che è la capacità di tenere a mente informazione per un periodo di molti secondi e di operare mentalmente su tale informazione. Di solito, i test della memoria operativa si eseguono nel dominio di parole o numeri, oggetti o loro caratteristiche: per esempio, a un soggetto si dice un numero telefonico e poi gli si chiede di ripeterlo immediatamente, a ritroso, saltando le cifre dispari.

Nel prevedere che Elliot sarebbe caduto nei test che servonó a rivelare disfunzioni dei lobi frontali mi ero sbagliato: egli si rivelò intellettualmente integro, tanto che superò senza inciampi perfino i test speciali. Fu scelto il Wisconsin Card Sorting Test, che è il più usato di un piccolo gruppo di cosiddetti test per i lobi frontali: il soggetto deve scegliere da un mazzo di carte su cui sono riprodotte figure che possono essere suddivise in categorie – secondo il colore (per esempio, rosso o verde), la forma (stelle, cerchi, quadrati), il numero di elementi raffigurati (uno, due o tre elementi). Quando l'esaminatore cambia il criterio secondo il quale il soggetto sta scegliendo e ordinando le carte, questi deve accorgersene rapidamente e passare al nuovo criterio di selezione. Negli anni Sessanta, la psicologa Brenda Milner ha mostrato che spesso pazienti con lesioni alle cortecce prefrontali sono menomati, nell'esecuzione di tale compito; altri ricercatori ne hanno dato ripetute conferme.[3] Tali pazienti tendono a fissarsi su un criterio, invece di adeguarsi opportunamente. Elliot ottenne un risultato che la maggior parte dei pazienti con lesioni ai lobi frontali non raggiunge: arrivò a sei categorie in settanta tornate, districandosi agevolmente nel compito senza alcuna differenza apparente rispetto a individui non menomati. Inoltre, egli ha mantenuto negli anni questo tipo di prestazione nel Wisconsin Test e in prove analoghe. In questa sua normalità è implicita la capacità di seguire e di lavorare con una memoria operativa, come pure una essenziale competenza logica e la capacità di cambiare assetto mentale.

Un altro indice di una funzione intellettuale superiore sovente compromessa in soggetti con lesioni ai lobi frontali è la capacità di compiere stime sulla base di conoscenze incomplete. Due ricercatori (Tim Shallice e M. Evans) hanno escogitato una prova per valutarla; la prova è costituita da domande per le quali non esiste una risposta precisa (salvo, forse, accettare una sequenza di banalità) e alle quali si può rispondere solo rievocando una varietà di fatti sconnessi e operando su questi con destrezza logica in modo da pervenire a un'inferenza efficace.[4] Supponete, per esempio, che vi si chieda quante giraffe vi sono a New York, o quanti elefanti nello Iowa; dovrete considerare che nessuna delle due specie è indigena dell'America settentrionale, cosicché le si potrà trovare solo negli zoo o in parchi appositamente creati; poi dovrete passare in rassegna la pianta di New York e la carta dello Iowa, segnando in ciascuna quanti di tali insediamenti possono esservi; ricorrendo a un altro vostro deposito di conoscenze potrete determinare il probabile numero di giraffe e di elefanti per ogni sede; infine, fatti alcuni conti, arriverete a un risultato. (Io spero che voi possiate rispondere con un numero ragionevolmente approssimato, ma certo sarei sorpreso – e turbato – se conosceste il numero esatto). In sostanza, dovete produrre una stima accettabile, basata su frammenti sparsi di conoscenze non collegate; e dovete possedere una competenza logica normale, un'attenzione normale e una memoria operativa normale. Alla luce di tutto questo, allora, è interessante sapere che il sovente irragionevole Elliot fornì stime cognitive che rientravano nella gamma normale.

Fino ad allora Elliot era passato con successo attraverso la maggior parte delle prove a cui era stato sottoposto; ma ancora non aveva fatto alcun test di personalità, e io pensai che ciò fosse necessario. Quali probabilità c'erano che andasse bene nel principale

di questi test, il Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI)?[5] Come avrete immaginato, Elliot risultò normale anche questa volta: egli fornì un profilo solido, una prestazione genuina.

Da tutti questi test, Elliot emergeva come un soggetto dotato di intelletto normale, ma non capace di decidere in modo appropriato, specie quando la decisione riguardava questioni personali o sociali. Era possibile che ragionare e decidere nel dominio personale e sociale fossero differenti dal ragionare e pensare in domìni riguardanti gli oggetti, lo spazio, numeri e parole? Dipendevano forse da processi e sistemi neurali differenti? Dovetti arrendermi alla circostanza che in laboratorio, con i tradizionali strumenti della neuropsicologia, si poteva misurare poco o nulla, nonostante i non piccoli cambiamenti che avevano fatto seguito alla sua lesione cerebrale. Altri pazienti avevano manifestato questo tipo di dissociazione, ma nessuno in modo così sconcertante per noi esaminatori. Dovevamo sviluppare nuovi criteri, se volevamo misurare una qualsiasi menomazione; e se volevamo dare una spiegazione soddisfacente delle sue anomalie di comportamento dovevamo abbandonare i motivi tradizionali: le impeccabili esecuzioni di Elliot erano lì a indicare che questi erano fuori causa.

Risposta alla sfida

Quando ci si imbatte in un ostacolo intellettuale, la cosa più saggia che si possa fare è abbandonare per un po' il problema; così accantonai momentaneamente il caso di Elliot, e quando tornai a pensarci mi accorsi che il mio punto di vista si era modificato. Mi resi conto che, per varie ragioni, mi ero preoccupato troppo dello stato dell'intelligenza di Elliot e degli strumenti della sua razionalità, curandomi poco delle sue emozioni. In queste, a prima

vista, nulla appariva fuori dell'ordinario. Come ho già accennato in precedenza, egli era emotivamente controllato – come sono state molte persone insigni e socialmente esemplari, peraltro. Di certo non era un tipo troppo emotivo; non rideva né piangeva a sproposito, e non appariva né triste né allegro. Non era spiritoso, bensì dotato di un pacato senso dell'umorismo – assai più simpatico e socialmente accettabile di quello di certe mie conoscenze. Un'analisi più approfondita, però, indicava che mancava qualcosa, e che io ne avevo trascurato il principale indizio: Elliot riusciva a raccontare la tragedia della sua vita con un distacco che strideva rispetto alla portata degli eventi. Era sempre controllato, sempre capace di descrivere vicende e circostanze con la freddezza dello spettatore non coinvolto; anche se era lui il protagonista, mai si aveva il senso della sua sofferenza. Beninteso, questa sorta di riserbo è spesso la benvenuta, dal punto di vista del medico-ascoltatore, che così può ridurre il proprio impegno emotivo. Ma allorché parlai di nuovo con Elliot – per ore, alla fine – divenne chiaro che il suo distacco era insolito. Elliot non esercitava alcuna azione di freno sul proprio affetto: era calmo, rilassato, e la sua esposizione fluiva senza sforzo. Egli non impediva l'espressione di una risonanza emotiva interiore, né nascondeva un'agitazione interna; semplicemente, non c'era in lui alcuna agitazione da nascondere. E questa non era riservatezza culturalmente acquisita: in una qualche curiosa maniera, involontariamente protettiva, la sua tragedia non lo faceva penare; mi accorsi che soffrivo di più io, nell'ascoltarlo, di quanto sembrasse soffrire lui. Anzi, io sentii che soffrivo più di lui già al solo *pensare* alla sua vicenda.

Un frammento dopo l'altro, il quadro della sua disaffezione si veniva componendo, in parte grazie alle mie osservazioni, in parte grazie a quanto diceva lo stesso Elliot, in parte grazie alle testimonianze dei

suoi parenti. Nel dispiegare le proprie emozioni Elliot era assai più pacato adesso di quanto fosse prima di essere colpito dal tumore. Sembrava accostarsi alla vita sempre sulla stessa nota neutra; mai, in ore di chiacchierate, colsi in lui una sfumatura di emozione: niente tristezza, né impazienza o frustrazione, sotto l'incalzare delle mie domande. Lo stesso comportamento, mi fu detto, manifestava nell'ambiente di ogni giorno: di solito non mostrava ira, e nelle rare occasioni in cui ciò accadeva le sue esplosioni erano rapidissime, e subito riacquistava il suo nuovo sé usuale, calmo e senza risentimenti.

In seguito, e in modo del tutto spontaneo, avrei ottenuto direttamente da lui la prova che mi occorreva. Il mio collega Daniel Tranel aveva compiuto un esperimento psicofisiologico nel quale mostrava, ai soggetti, stimoli visivi capaci di suscitare emozioni: per esempio, immagini di edifici che crollavano durante un terremoto, di case distrutte da incendi, di persone ferite in incidenti sanguinosi o sul punto di annegare vittime di alluvioni. Quando interrogammo Elliot dopo una delle molte sedute di esame di tali immagini, egli dichiarò apertamente che il suo modo di sentire era cambiato, dopo il male: avvertiva come argomenti che prima avevano suscitato in lui una forte emozione ora non provocavano più alcuna reazione, né positiva né negativa.

Stupefacente! Provate a immaginare quel che era accaduto: provate a immaginare di non sentire piacere quando contemplate una pittura che vi piace, o quando ascoltate uno dei vostri brani musicali preferiti. Provate a immaginarvi completamente privati di tale possibilità, e tuttavia ancora consapevoli del contenuto intellettuale dello stimolo visivo o sonoro, e consapevoli anche del fatto che una volta vi dava piacere. *Sapere ma non sentire*: così potremmo riassumere la infelice condizione di Elliot.

Cominciai allora a considerare, incuriosito, la possibilità che tale riduzione delle emozioni e dei

sentimenti di Elliot potesse avere un ruolo nel venir meno della sua capacità decisionale: ma l'idea aveva bisogno di essere sostenuta da ulteriori studi, condotti su Elliot e su altri pazienti. Prima di tutto, dovevo poter escludere, oltre ogni ombra di dubbio, che mi fosse sfuggita qualche difficoltà intellettuale primaria di Elliot tale da spiegare i suoi problemi.

Ragionare e decidere

Per poter procedere all'esclusione di sottili deficit intellettuali, bisognava seguire molte strade. Era importante stabilire se Elliot ancora conosceva le regole e i princìpi di comportamento che giorno dopo giorno trascurava di rispettare. In altre parole, aveva perduto ogni conoscenza riguardante il comportamento sociale, per cui anche se dotato di normali meccanismi di ragionamento non sarebbe stato in grado di risolvere un problema? Oppure possedeva ancora quelle conoscenze ma non era più capace di metterle assieme ed elaborarle? Oppure ancora, era in grado di accedere alle conoscenze, ma non di operare su di esse e di compiere una scelta?

Questa fu un'indagine che compii con l'aiuto di uno dei miei studenti, Paul Eslinger. Cominciammo con il presentare a Elliot una serie di problemi riguardanti dilemmi etici e questioni finanziarie. Per esempio: trovandosi ad aver bisogno di denaro, sarebbe stato disposto a rubarlo, se ne avesse avuto l'occasione e anche la garanzia pressoché totale che non sarebbe stato scoperto? Oppure: essendo a conoscenza dell'andamento delle azioni della società X nell'ultimo mese, avrebbe venduto o comprato azioni? Elliot rispose come avrebbe risposto chiunque di noi del laboratorio. I suoi giudizi etici obbedivano a princìpi che tutti noi condividevamo; egli era ben consapevole di come le convenzioni sociali si applicassero a quei problemi. Anche le sue deci-

sioni finanziarie suonavano ragionevoli. Non v'era nulla di particolarmente elaborato nelle domande che gli sottoponemmo; tuttavia fu significativo scoprire che egli non rispondeva in modo anormale. Dopo tutto, le sue prestazioni nella vita reale erano un seguito di violazioni nei domìni abbracciati da quei problemi; la discrepanza tra le omissioni della vita reale e la normalità di laboratorio prospettava ancora un'altra sfida.

La risposta l'avrebbe trovata più tardi il mio collega Jeffrey Saver, studiando il comportamento di Elliot in una serie di prove di laboratorio, controllate, riguardanti convenzioni sociali e valori morali.

La prima di tali prove riguardava la formazione di scelte per l'azione; il test era concepito per misurare la capacità di escogitare soluzioni alternative per ipotetici problemi sociali. Posto di fronte a quattro situazioni sociali imbarazzanti, presentate verbalmente, per ognuna il soggetto deve produrre (e descrivere con parole) differenti opzioni di risposta. In un caso, ad esempio, il protagonista rompe un vaso di fiori di una sposa, e gli si chiede di indicare quali azioni potrebbe compiere perché la sposa non si adiri. Per stimolare soluzioni diverse, si impiega una serie standard di domande del tipo: « Che cos'altro si potrebbe fare? ». Poi si registra il numero di soluzioni pertinenti e distinte concepite dal soggetto, sia prima sia dopo la sollecitazione. Rispetto a un gruppo di controllo, Elliot non fece rilevare alcun deficit nella sua prestazione, sia per numero di soluzioni pertinenti esposte prima della sollecitazione, sia per numero totale di soluzioni pertinenti, sia per indice di pertinenza.

La seconda prova riguardava la consapevolezza delle conseguenze, e questa misura era costruita in modo da campionare l'inclinazione spontanea del soggetto a considerare le conseguenze delle sue azioni. Al soggetto vengono presentate quattro situazioni ipotetiche nelle quali si può essere tentati

di trasgredire la convenzione sociale consueta. In uno dei segmenti della prova, il protagonista va in banca a cambiare un assegno, e il cassiere gli dà più soldi del dovuto; al soggetto si chiede di descrivere un possibile seguito, e di esporre i pensieri del protagonista prima di un'azione, nonché i pensieri o gli eventi successivi. Il punteggio assegnato al soggetto riflette la frequenza con la quale la sua risposta contiene anche una considerazione delle conseguenze che comporterà l'avere adottato una data opzione. In questa prova, la prestazione di Elliot fu perfino superiore a quella del gruppo di controllo.

La terza prova (la Means-Ends Problem Solving Procedure) riguardava l'abilità di concettualizzare mezzi efficaci per conseguire un obiettivo sociale. Al soggetto vengono presentati dieci scenari diversi, ed egli deve concepire provvedimenti adeguati ed efficaci per raggiungere un obiettivo specificato, al fine di soddisfare un bisogno sociale: per esempio, creare un'amicizia, mantenere una relazione sentimentale, risolvere una difficoltà di lavoro. Al soggetto si potrebbe dire di qualcuno che si trasferisce in un nuovo quartiere e riesce a farsi molti buoni amici, tanto da sentirsi perfettamente inserito; quindi gli si chiede di elaborare una storia in cui si descrivono gli eventi che hanno portato a tale esito positivo. Il punteggio è dato dal numero di atti efficaci che lo hanno determinato. Elliot rispose in modo impeccabile.

La quarta prova riguardava la capacità di predire le conseguenze sociali di certi eventi. Il test era costituito dalla presentazione di trenta pannelli, ciascuno con una vignetta rappresentante una situazione interpersonale; al soggetto si richiede di scegliere, fra tre altri pannelli, quello nel quale è raffigurata la scena che a suo giudizio presenta il seguito più verosimile della storia. Il punteggio riflette il numero di scelte corrette. Elliot non ottenne un risultato diverso dai soggetti normali, di controllo.

L'ultima prova, la quinta (la Standard Issue Moral Judgment Interview, una versione modificata del dilemma di Heinz messa a punto da L. Kohlberg e colleghi),[6] riguardava lo stadio di sviluppo del ragionamento morale. Al soggetto viene presentata una situazione sociale che implica un conflitto tra due imperativi morali e gli si chiede di indicare una soluzione del dilemma dando anche una particolareggiata giustificazione etica della scelta fatta. Ad esempio, in una di tali situazioni il soggetto deve decidere se un individuo può o no rubare un certo farmaco per scongiurare la morte della propria moglie, e poi deve spiegare perché ha deciso così. Il punteggio prevede espliciti criteri di graduazione, per assegnare il giudizio relativo a ogni intervista a un dato livello di sviluppo morale.

Il soggetto viene così classificato in uno dei cinque stadi previsti, via via più complessi, di ragionamento morale. Si distinguono livelli preconvenzionali (stadio 1: obbedienza e orientamento determinato dalla punizione; stadio 2: scopo strumentale e scambio); livelli convenzionali (stadio 3: accordo interpersonale e conformità; stadio 4: accordo sociale e tutela del sistema) e un livello postconvenzionale (stadio 5: contratto sociale, vantaggiosità, diritti individuali). Alcune ricerche indicano che, all'età di 36 anni, l'89 per cento dei soggetti maschi americani appartenenti alla classe media si è sviluppato fino allo stadio convenzionale del ragionamento morale, e l'11 per cento fino allo stadio postconvenzionale. Elliot ottenne un punteggio globale di 4/5, indicante una modalità tardo-convenzionale, quasi postconvenzionale di pensiero morale: un risultato eccellente.

In breve, Elliot aveva una capacità normale di produrre opzioni di risposta alle situazioni sociali e di considerare spontaneamente le conseguenze di alcune opzioni particolari. Era anche capace di concettualizzare i modi per conseguire obiettivi sociali,

di predire il probabile esito di situazioni sociali e di compiere ragionamenti morali a un livello avanzato di sviluppo. I risultati indicavano con chiarezza che il danno al settore ventromediano del lobo frontale non aveva distrutto le conoscenze sociali registrate, poi richiamate sotto le condizioni dell'esperimento.[7]

Mentre la prestazione di Elliot era in accordo con l'alto punteggio ottenuto nei test convenzionali per la memoria e l'intelletto, essa contrastava nettamente con il deficit di capacità decisionale che egli mostrava nella vita di ogni giorno. Come mai? Noi spiegammo la vistosissima divergenza sulla base di varie differenze tra le condizioni e le esigenze imposte da tali prove e quelle presenti nella vita reale. Proviamo ad analizzare queste differenze.

Salvo che per l'ultima prova, non era richiesto di fare una scelta tra le varie opzioni: era sufficiente evocarle, ed evocarne le possibili conseguenze. In altre parole, era sufficiente ragionare sul problema, ma non era necessario che il ragionamento sostenesse una decisione. In questa prova, una prestazione normale dimostrava l'esistenza di conoscenza sociale e la possibilità di accedervi, ma nulla diceva riguardo al processo o alla scelta stessa. La vita reale, invece, sa come forzarvi a scegliere, e se non cedete a questa pressione potete rimanere indecisi proprio come Elliot.

Niente potrebbe illustrarlo meglio delle parole dello stesso Elliot; al termine di una sessione nella quale aveva esposto un gran numero di opzioni per l'azione, tutte fondate e attuabili, egli si aprì in un sorriso, manifestamente soddisfatto della propria ricca immaginazione, ma aggiunse: « E dopo tutto questo, io ancora non saprei che cosa fare! ».

Anche se avessimo impiegato test che richiedessero a Elliot di fare una scelta a ogni voce, le condizioni ancora sarebbero state diverse dalle circostanze della vita reale: egli avrebbe avuto a che fare con l'originario insieme di vincoli e non con quelli, nuo-

vi, scaturiti a partire da una data risposta iniziale. Nella « vita reale », per ogni scelta fatta corrispondere da Elliot a una data situazione vi sarebbe stata una risposta che avrebbe modificato la situazione, richiedendo un'ulteriore serie di scelte; ciò avrebbe portato a un'altra risposta ancora, e alla richiesta di un'altra serie di scelte, e così via. In altre parole, dalle prove di laboratorio era assente l'imprecisata, ininterrotta e sempre aperta evoluzione che caratterizza le situazioni della vita reale. Lo studio di Jeffrey Saver, però, aveva lo scopo di valutare status e accessibilità della base di conoscenze, non il processo di ragionamento e di decisione.

Bisogna notare anche altre differenze tra la vita reale e le prove di laboratorio. In queste ultime, la cornice temporale degli eventi considerati era compressa, anziché realistica. In alcune circostanze, l'elaborazione in tempo reale può richiedere di tenere a mente l'informazione (per esempio, rappresentazioni di persone, oggetti o scene) per intervalli di tempo prolungati, specialmente se emergono nuove opzioni e nuove conseguenze da confrontare. Inoltre, nelle nostre prove le situazioni – e le domande al riguardo – erano presentate pressoché esclusivamente attraverso il linguaggio. Ma la vita reale il più delle volte ci si para davanti con una più ampia mescolanza di materiale figurativo e linguistico: di fronte a noi si presentano persone e oggetti; vedute, suoni, odori; scene di intensità variabile; e ogni forma di narrazione, verbale o figurata, che noi vi creiamo attorno.

Comunque, a parte queste carenze, avevamo pur fatto qualche progresso. I risultati suggerivano con forza che non bisognava attribuire il deficit decisionale di Elliot a scarsità di conoscenza sociale, o a difficoltà di accesso a tale conoscenza, o ad una menomazione elementare del ragionamento; né, ancora meno, a un deficit elementare dell'attenzione o della memoria operativa riguardante l'elaborazione

della conoscenza fattuale necessaria per prendere decisioni nel dominio personale e in quello sociale. Il deficit appariva collocarsi agli stadi più avanzati del ragionamento, in prossimità o in corrispondenza del punto in cui deve essere fatta la scelta o deve emergere la risposta. Insomma, era in un punto avanzato del processo che qualcosa non andava per il verso giusto. Elliot era incapace di scegliere in modo efficace, o poteva non scegliere affatto, o scegliere malamente. Si ricordi come fosse solito deviare da un compito assegnatogli e sprecare ore in minuzie. Posto di fronte a un compito, ciascuno di noi deve ogni volta selezionare correttamente il cammino da seguire tra le molte opzioni che si prospettano, se non vuol mancare il bersaglio. Elliot non era più in grado di scegliere quel cammino, e noi dovevamo scoprire il perché.

Adesso ero certo che Elliot avesse molto in comune con Phineas Gage. In entrambi, i difetti del comportamento sociale e della capacità di decidere erano compatibili con una normale base di conoscenza sociale, e con funzioni neuropsicologiche di ordine superiore che erano state preservate: ad esempio la memoria convenzionale, il linguaggio, l'attenzione di base, e inoltre la memoria operativa e il ragionamento di base. Si aggiunga che ero certo che in Elliot il deficit si accompagnasse a una riduzione della reattività emotiva e del sentimento. (Con ogni probabilità, il deficit emotivo era presente anche in Gage, ma le testimonianze rimasteci non ci permettono di affermarlo con sicurezza. Considerati l'uso di un linguaggio scurrile e l'ostentazione della propria miseria, possiamo dedurne quanto meno che gli mancava ogni senso di imbarazzo). Sospettavo anche che il deficit di emozione e sentimento non fosse un innocente spettatore, casualmente vicino al deficit del comportamento sociale; l'alterazione delle emozioni probabilmente contribuiva al problema. Cominciai a pensare che la freddezza del ragio-

nare di Elliot gli impedisse di assegnare valori differenti a opzioni differenti, rendendo il paesaggio del suo processo decisionale irrimediabilmente piatto. Poteva anche darsi che la medesima freddezza rendesse il suo paesaggio mentale troppo mutevole e instabile per il tempo occorrente a operare la selezione delle risposte: in altre parole, forse c'era un deficit modesto anziché basilare della memoria operativa, capace di alterare il resto del processo di ragionamento necessario per fare emergere una decisione. Comunque sia, il tentativo di comprendere sia Elliot sia Gage prometteva un accesso alla neurobiologia della razionalità.

4
A SANGUE PIÙ FREDDO

Non vi è stato mai alcun dubbio sul fatto che, in determinate circostanze, l'emozione distrugga il ragionamento. Di questo vi sono numerose prove, che costituiscono la ragione dell'ammonimento tante volte ripetutoci dai nostri maestri: non essere una testa calda, tieni a bada le emozioni; non lasciare che le passioni interferiscano con il giudizio. Ne consegue che di solito concepiamo l'emozione come una facoltà mentale eccedente, una non richiesta compagna – che la natura ci ha imposto – del nostro pensiero razionale. Se l'emozione è piacevole, ne godiamo come di un lusso; se è dolorosa, la soffriamo come un'intrusa malaccetta. In ogni caso, ammonisce il saggio, emozione e sentimento vanno presi solo a piccole dosi: dobbiamo essere ragionevoli.

Vi è molta saggezza in questa credenza largamente condivisa, e non sarò io a negare che un'emozione non controllata o mal diretta possa essere una copiosa fonte di comportamenti irrazionali, o che una ragione apparentemente normale possa essere disturbata da sottili inclinazioni radicate nell'emoti-

vità. Per esempio, è più probabile che un paziente preferisca un metodo di cura se gli si dice che il 90 per cento dei soggetti che vi si sono sottoposti è ancora in vita cinque anni dopo, piuttosto che se gli si dice che il 10 per cento è deceduto.[1] L'esito dichiarato è esattamente lo stesso, ma è probabile che i sentimenti suscitati dall'idea della morte conducano al rigetto di una possibilità che sarebbe adottata nell'altra configurazione della scelta: un'illazione irrazionale e non coerente. Il fatto che i medici non rispondano in modo diverso rispetto ai pazienti non medici conferma che l'irrazionalità non deriva da mancanza di conoscenza. Tuttavia, quel che si sente ripetere di solito tralascia una nozione che emerge dallo studio di pazienti come Elliot e da altre osservazioni che tratterò più avanti: *una riduzione dell'emozione può costituire una fonte ugualmente significativa di comportamento irrazionale*. Il legame – contrario all'intuizione – tra assenza di emozione e comportamento distorto può dirci qualcosa sul meccanismo biologico della ragione.

Cominciai a seguire questa strada adottando l'impostazione della neuropsicologia sperimentale,[2] che si può legare ai seguenti passi: trovare correlazioni sistematiche tra danni cerebrali in determinati siti e disturbi del comportamento e della cognizione; confermare i risultati stabilendo quelle che sono note come doppie dissociazioni, per cui un danno nel sito A causa il disturbo X ma non il disturbo Y, mentre un danno nel sito B causa il disturbo Y ma non il disturbo X; formulare ipotesi sia generali sia particolari secondo le quali un sistema neurale normale costituito da componenti diversi (per esempio, regioni corticali e nuclei subcorticali) effettua una normale prestazione cognitivo/comportamentale con differenti componenti a grana fine; da ultimo, saggiare le ipotesi in nuovi casi di lesioni cerebrali, in cui una lesione avvenuta in un certo sito viene usata come *sonda* per vedere se il danno ha provocato l'effetto supposto.

L'obiettivo dell'impresa neuropsicologica, così, è quello di spiegare in qual modo certi processi cognitivi e i loro componenti siano in relazione con i sistemi neurali e i loro componenti. La neuropsicologia non riguarda, o non dovrebbe riguardare, la ricerca della « localizzazione » cerebrale di un « sintomo » o di una « sindrome ».

Per prima cosa mi preoccupai di verificare che le nostre osservazioni riguardanti Elliot valessero anche per altri pazienti; e così risultò. Fino a oggi abbiamo studiato dodici pazienti con lesioni prefrontali del tipo riscontrato in Elliot, e in nessuno era assente un deficit di capacità decisionale combinato con piattezza di emozioni e sentimenti. I poteri della ragione e l'esperienza dell'emozione declinano insieme, e la loro menomazione si inquadra in un profilo neuropsicologico nel quale l'attenzione di base, la memoria, l'intelligenza e il linguaggio appaiono intatti, tanto che sarebbe impossibile invocarli per spiegare i deficit di giudizio dei pazienti.

Ma non è solo dopo una lesione prefrontale che appare la vistosa, convergente menomazione della ragione e del sentimento. In questo capitolo, mostrerò come tale combinazione di alterazioni possa scaturire da lesioni ad altri siti cerebrali specifici, e come tali correlazioni suggeriscano l'interagire dei sistemi sottesi dai normali processi dell'emozione, del sentimento, del ragionare e del decidere.

Prove da altri casi di lesioni prefrontali

Mi sembra opportuno porre in una prospettiva storica i miei commenti su casi di lesioni prefrontali. Per chi voglia tentare di comprendere le basi neurali del ragionamento e della decisione, la vicenda di Phineas Gage non è la sola fonte storica importante; sono in grado di presentarne qui altre

quattro che contribuiscono a delineare il profilo di base.

Il primo esempio, studiato nel 1932 da R.M. Brickner, neurologo della Columbia University, e identificato come «paziente A», è quello di un agente di cambio trentanovenne di New York, un professionista di successo, nel quale si sviluppò un tumore al cervello, come in Elliot un meningioma.[3] Il tumore crebbe dall'alto, esercitando una pressione verso il basso sui lobi frontali, con risultati simili a quelli da noi riscontrati in Elliot. Walter Dandy, uno dei pionieri della neurochirurgia, riuscì a rimuovere il tumore, potenzialmente letale, ma non prima che la massa tumorale avesse arrecato estesi danni alle cortecce cerebrali nei lobi frontali, a sinistra e a destra (fig. 4.1). Le aree colpite comprendevano tutte quelle che andarono perdute in Elliot e in Gage, ma si spingevano un poco oltre. Sulla sinistra, furono rimosse chirurgicamente tutte le cortecce frontali poste di fronte alle aree del linguaggio; sulla destra, l'escissione fu più ampia, abbracciando tutta la corteccia di fronte alle aree che controllano il movimento. Furono anche asportate le cortecce della superficie ventrale (orbitaria) e la parte inferiore della superficie interna (mediana) di entrambi i lati dei lobi frontali; il giro del cingolo fu risparmiato. (La descrizione chirurgica fu confermata per intero, vent'anni dopo, da un'autopsia).

Il paziente A aveva percezione normale. Normale l'orientamento rispetto a persone, luoghi, tempo; normale la sua memoria convenzionale riguardo a fatti recenti o remoti. Le sue capacità motorie e linguistiche erano intatte, e tale sembrava anche la sua intelligenza, sulla base dei test psicologici disponibili a quel tempo; molto rilievo si dava al fatto che egli era in grado di eseguire calcoli e di giocare bene a dama. Ma a dispetto del suo sorprendente benessere fisico e delle mirabili capacità mentali, il paziente

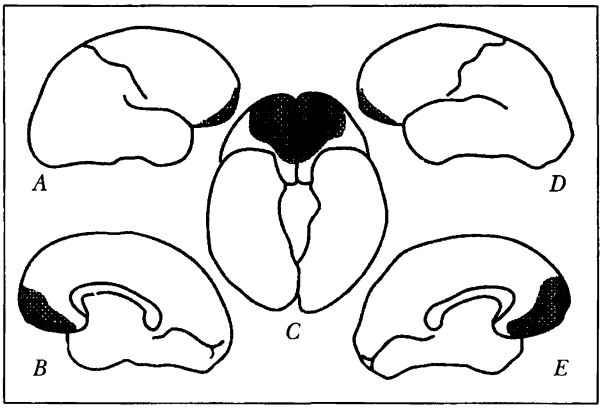

Fig. 4.1 Le parti ombreggiate rappresentano i settori ventrale e mediano del lobo frontale che risultano marcatamente compromessi nei pazienti con la « matrice » di Gage. Si noti che non risulta affetto il settore dorsolaterale dei lobi frontali.
A = emistero cerebrale destro, vista esterna (laterale)
B = emisfero cerebrale destro, vista interna (mediana)
C = cervello visto dal basso (vista ventrale o orbitaria)
D = emisfero sinistro, vista esterna
E = emisfero sinistro, vista interna.

A non ritornò mai al lavoro: se ne stava a casa, e qui elaborava piani per un rientro nella professione, ma senza mai attuare nemmeno il più semplice di tali piani. Era un'altra vita che si disfaceva.

La personalità di A era cambiata profondamente. La sua riservatezza di modi era svanita; prima era stato un individuo riflessivo e compìto, e ora poteva rivelarsi tanto inopportuno da sconcertare. Sulle altre persone (compresa sua moglie) esprimeva osservazioni irriguardose, a volte francamente crudeli. Si vantava della propria bravura professionale, fisica e sessuale, sebbene non lavorasse, non facesse alcuno sport e avesse cessato di avere rapporti sessuali con la moglie o con chicchessia. La sua conversazione ruotava per lo più attorno a prodezze mitiche,

condita da notazioni pungenti, in genere rivolte contro gli altri. All'occasione, se frustrato, si faceva ingiurioso, ma senza passare alla violenza fisica.

La vita emotiva del paziente A sembrava impoverita; di tanto in tanto poteva capitargli un'esplosione di emozioni, ma per lo più tali manifestazioni erano assenti. Non v'è alcun segno che egli sentisse qualcosa per gli altri; nessun indizio di imbarazzo, tristezza o angoscia per una svolta così tragica della sua esistenza. Nell'insieme, l'aggettivo che meglio definisce la sua affettività è « poco profonda ». Egli era divenuto passivo e dipendente; così, trascorse il resto della sua vita sotto la tutela della famiglia: gli insegnarono a far funzionare una macchina stampatrice, imparò a stampare biglietti da visita e questa divenne la sua unica attività produttiva.

Il paziente A manifestava con tutta chiarezza le caratteristiche cognitive e comportamentali che sto cercando di definire per quella che potrebbe chiamarsi la « matrice » di Phineas Gage: dopo avere sofferto una lesione alle cortecce frontali, perdette la capacità di scegliere la linea d'azione più vantaggiosa, nonostante le capacità mentali fossero per altri versi rimaste inalterate; emozioni e sentimenti erano compromessi. Va precisato che, quando si mettono a confronto diversi casi, attorno a questa matrice si riscontrano differenze dei profili di personalità; ma è tipico dell'inevitabile natura delle sindromi avere una matrice, un nucleo condiviso di sintomi e una variabilità dei sintomi tutt'attorno a tale nucleo. Come ho già accennato nell'esporre le differenze superficiali tra Gage e Elliot, è prematuro decidere sulla causa di tali differenze. Qui voglio semplicemente far notare l'essenza comune della loro condizione.

La seconda fonte storica risale al 1940.[4] Donald Hebb e Wilder Penfield, alla McGill University canadese, descrissero un paziente il quale aveva subìto un grave incidente all'età di sedici anni, e richiama-

rono l'attenzione su un punto importante. Phineas Gage, il paziente A e le loro controparti moderne erano stati adulti normali e avevano raggiunto la maturità della persona prima di subire lesioni ai lobi frontali e di mostrare anomalie di comportamento. Che cosa sarebbe accaduto se la lesione li avesse colpiti durante lo sviluppo, in un certo momento della loro infanzia, o dell'adolescenza? Si sarebbe portati a prevedere che bambini o adolescenti così menomati non riusciranno a sviluppare una personalità normale, che il loro senso sociale non giungerà mai a maturazione; ed è esattamente ciò che è stato riscontrato in tali casi. Il paziente di Hebb e Penfield aveva subìto una frattura composta delle ossa frontali tale da comprimere, fino a distruggerle, le cortecce frontali su entrambi i lati, e anche se era stato un bambino normale e un adolescente normale, dopo l'incidente la continuità del suo sviluppo sociale fu interrotta e anche il suo comportamento sociale ne fu danneggiato.

Ancor più rivelatore, forse, è il terzo caso, descritto da S.S. Ackerly e A.L. Benton nel 1948.[5] Il loro paziente subì una lesione al lobo frontale all'epoca della nascita, e perciò crebbe passando attraverso gli stadi dell'infanzia e dell'adolescenza privo di molti dei sistemi cerebrali che a mio giudizio sono necessari perché possa emergere una personalità umana normale. Di conseguenza, il suo comportamento fu sempre anormale. Non era stupido, da bambino, e gli apparati di base della sua mente sembravano intatti; ma egli non acquisì mai un comportamento sociale normale. All'età di diciannove anni fu sottoposto a un esame neurochirurgico, e risultò che il lobo frontale sinistro era poco più che una cavità vuota, mentre quello destro era del tutto assente, in conseguenza di atrofia: quella grave lesione avvenuta all'epoca della nascita aveva danneggiato in maniera irreversibile la maggior parte delle cortecce frontali.

Questo paziente non riuscì mai a tenere un posto di lavoro: ogni volta, dopo alcuni giorni di obbedienza perdeva interesse per l'attività assegnatagli, arrivando perfino a commettere furti o a mostrarsi riottoso. Qualsiasi scostamento dalla routine consueta riusciva facilmente a frustrarlo e poteva causare un'esplosione di malumore, anche se in genere egli era piuttosto remissivo e gentile. (Di lui si diceva che avesse i modi cortesi che definiscono « la compitezza di un maggiordomo inglese »). Gli interessi sessuali erano deboli ed egli non ebbe mai relazioni sentimentali. Il suo comportamento era stereotipato, privo di immaginazione e di iniziativa; né sembrava influenzato da premi o punizioni. Nessun passatempo preferito, nessuno sviluppo di capacità professionali. La memoria era capricciosa: cadeva in difetto in situazioni nelle quali ci si aspetterebbe il verificarsi di qualche forma di apprendimento, e poi d'improvviso poteva rivelarsi brillante in qualche settore marginale – per esempio, aveva una conoscenza minuziosa dei diversi modelli di automobile. Non era mai felice, né triste; tanto il piacere quanto il dolore sembravano, in lui, di breve durata.

Il paziente di Hebb e Penfield e quello di Ackerly e Benton avevano in comune alcuni tratti della personalità. Rigidi e ostinati nel loro modo di accostarsi alla vita, erano entrambi incapaci di organizzare la propria attività futura e di mantenere un'occupazione rimunerativa; mancavano di creatività e di originalità; avevano la tendenza a vantarsi e a presentare un quadro favorevole di sé; mostravano modi in generale corretti ma stereotipati; erano meno capaci di altri di provare piacere e di reagire al dolore; le loro pulsioni sessuali e l'istinto di esplorazione erano ridotti; mostravano assenza di deficit motori, sensori o di comunicazione, mentre l'intelligenza complessiva rientrava nella gamma di quanto ci si poteva attendere in base al loro retroterra culturale. Si presentano di continuo equivalenti mo-

derni di tali casi, e in tutti quelli che io ho potuto osservare le conseguenze sono simili. Per storia clinica e per comportamento sociale, questi pazienti ricordano quello di Ackerly e Benton. Un modo per descrivere il loro disagio è affermare che mai essi riescono a costruire una teoria adeguata della propria persona, o del ruolo sociale della propria persona nella prospettiva del passato e del futuro; e quel che non possono costruire per sé non possono nemmeno crearlo per gli altri. Sono privi di una teoria della propria mente e della mente di coloro con cui interagiscono.[6]

La quarta fonte di prove storiche si presenta in un settore inatteso: la letteratura sulla leucotomia prefrontale. Sviluppata nel 1936 dal neurologo portoghese Egas Moniz, questa tecnica chirurgica era intesa a trattare l'ansietà e l'agitazione che accompagnano condizioni psichiatriche quali la nevrosi ossessivo-coatta e la schizofrenia.[7] Secondo la tecnica elaborata da Moniz e applicata dal suo collaboratore Almeida Lima, neurochirurgo, l'intervento ledeva piccole regioni della sostanza bianca profonda di entrambi i lobi frontali. (Il nome « leucotomia » viene dai termini greci λευκός, che vuol dire « bianco », e τόμος, che vuol dire « sezione »; « prefrontale » indica la regione in cui si opera l'intervento). Come si è visto nel capitolo 2, la sostanza bianca al di sotto della corteccia cerebrale è formata da fasci di assoni (cioè fibre nervose), ciascuno dei quali è il prolungamento di un neurone. L'assone è il mezzo attraverso il quale un neurone entra in contatto con un altro. I fasci di assoni incrociano la materia cerebrale nella sostanza bianca, connettendo regioni differenti della corteccia cerebrale. Alcune connessioni sono locali, tra regioni della corteccia che distano solo pochi millimetri l'una dall'altra, mentre altre uniscono regioni molto più distanti: ad esempio, regioni corticali di un emisfero cerebrale con regioni corticali dell'altro emisfero. Vi sono anche

connessioni, nell'uno o nell'altro senso, tra regioni corticali e nuclei subcorticali – gli aggregati di neuroni al di sotto della corteccia cerebrale. Sovente si designa come « proiezione » il fascio di assoni che va da una sorgente nota a un determinato bersaglio, poiché gli assoni si proiettano su una particolare raccolta di neuroni. Una sequenza di proiezioni attraverso diverse stazioni bersaglio è nota come « percorso ».

L'idea originale concepita da Moniz fu che, in pazienti patologicamente affetti da ansietà e agitazione, proiezioni e percorsi nervosi della sostanza bianca nella regione frontale avessero formato circuiti anormalmente ripetitivi e iperattivi. L'ipotesi non si fondava su alcuna prova, anche se studi recenti sull'attività della regione orbitaria in pazienti affetti da ossessione o da depressione suggeriscono che Moniz può essere stato nel giusto, almeno in parte, anche là dove si sbagliava sui particolari. Ma se l'idea di Moniz era solida e precorritrice rispetto alle prove disponibili all'epoca, risultava quasi timida rispetto al trattamento che egli proponeva. Ragionando sul caso del paziente A e sui risultati di alcuni esperimenti su animali che illustreremo più avanti, Moniz prevedeva che una rescissione chirurgica di quelle connessioni avrebbe eliminato l'ansietà e l'agitazione, lasciando però inalterate le capacità dell'intelletto: egli era convinto che tale intervento avrebbe curato le sofferenze dei pazienti consentendo loro una vita mentale normale. Mosso dall'osservazione di quella che gli appariva come la condizione disperata di tanti pazienti non curati, Moniz mise a punto e tentò l'operazione.

I risultati delle prime leucotomie prefrontali diedero qualche conferma alle sue predizioni: nei pazienti scomparvero ansietà e agitazione, mentre rimanevano in larga misura intatte funzioni come il linguaggio e la memoria convenzionale. Non sarebbe corretto, tuttavia, giudicare che l'intervento chi-

rurgico non menomasse i pazienti in altri modi. Il loro comportamento, che non era mai stato normale, adesso era anormale in un modo diverso. L'ansietà estrema diede luogo a un'estrema calma; le loro emozioni apparivano piatte, e sembrava che essi non soffrissero. Il vivace intelletto che aveva prodotto compulsioni incessanti o pittoreschi deliri adesso era tranquillo; la pulsione dei pazienti a rispondere e ad agire, per quanto impropriamente, adesso era imbavagliata.

Da queste prime metodologie si ricavano testimonianze tutt'altro che ideali: raccolte molto tempo fa, con le limitate strumentazioni e conoscenze neuropsicologiche dell'epoca, non sono esenti (come sarebbe auspicabile) da pregiudizi, positivi o negativi; e le controversie su tali modalità di trattamento erano fortissime. Tuttavia, gli studi esistenti indicano con precisione alcuni fatti: in primo luogo, che una lesione della sostanza bianca soggiacente alle regioni orbitaria e mediana del lobo frontale alterava emozione e sentimento; in secondo luogo, che non ne erano toccati gli strumenti di base della percezione, della memoria, del linguaggio e del movimento; in terzo luogo, che nella misura in cui è possibile distinguere le nuove manifestazioni del comportamento da quelle che portarono all'intervento, sembra che i pazienti sottoposti a leucotomia fossero meno creativi e decisi di prima.

Per onestà nei confronti di Moniz e della prima tecnica di leucotomia prefrontale, va osservato che i pazienti trassero alcuni indiscutibili benefici dall'intervento chirurgico. Un aggravamento del deficit di capacità decisionale, sullo sfondo della loro malattia psichiatrica primaria, era forse un peso meno opprimente rispetto alla incontrollata ansietà di prima. Per quanto una mutilazione chirurgica del cervello sia inaccettabile, non si deve dimenticare che negli anni Trenta il trattamento tipico di tali pazienti implicava il relegarli in istituti per malati

mentali, e in aggiunta, o in alternativa, la somministrazione di dosi massicce di sedativi che soltanto ottundevano la loro ansietà, sostanzialmente stordendoli e consegnandoli al sonno. Tra le poche alternative alla leucotomia, la camicia di forza e l'elettroshock. Solo verso la fine degli anni Cinquanta sarebbero cominciati ad apparire i primi farmaci psicotropi, come la torazina. E bisogna ricordare anche che tuttora non abbiamo modo di sapere se gli effetti a lungo termine di tali farmaci sul cervello siano comunque meno distruttivi di quanto potrebbe essere una forma selettiva di chirurgia. Il giudizio deve restare sospeso.

Non v'è alcun bisogno, invece, di sospendere il giudizio contro quella ben più distruttiva versione dell'intervento di Moniz che è nota come lobotomia frontale. L'operazione ideata da Moniz provocava danni limitati al cervello; al contrario, la lobotomia frontale era spesso un mero atto di macelleria, causa di lesioni estese, e si rese ovunque famigerata per il modo discutibile in cui veniva prescritta e per le non necessarie mutilazioni che produceva.[8]

Sulla base della documentazione storica e delle prove ottenute in laboratorio, noi siamo giunti alle seguenti conclusioni provvisorie:

1) se la lesione arriva a toccare il settore ventromediano, un danno bilaterale alle cortecce prefrontali è sempre associato a menomazioni del ragionamento/attività decisionale e insieme dell'emozione/sentimento;

2) quando tali menomazioni si profilano su un quadro neuropsicologico per il resto largamente intatto, il danno è più esteso nel settore ventromediano; inoltre il dominio maggiormente affetto è quello personale/sociale;

3) nei casi di lesioni prefrontali in cui i settori dorsale e laterale sono danneggiati almeno quanto il settore ventromediano, se non più estesamente, le menomazioni del ragionamento e della decisione

non sono più concentrate nel dominio personale/sociale. Tali menomazioni, come quelle dell'emozione e del sentimento, sono accompagnate da deficit dell'attenzione e della memoria operativa, rivelati da test con oggetti, parole o numeri.

Quel che ci occorreva sapere adesso era se questi strani compagni di letto (ragionamento/attività decisionale menomati ed emozione/sentimento menomati) potevano comparire da soli o in diversa compagnia neuropsicologica a seguito di lesioni in altri punti del cervello.

La risposta fu che sì, essi comparivano, e in modo pronunciato, come effetto di lesioni in altri punti, uno dei quali era un settore dell'emisfero cerebrale destro (non del sinistro) che contiene le diverse cortecce deputate a elaborare i segnali provenienti dal corpo. Un altro comprendeva strutture del sistema limbico, ad esempio l'amigdala.

Prove da lesioni oltre le cortecce prefrontali

Vi è un'altra importante condizione neurologica che condivide la matrice di Phineas Gage, anche se i pazienti che ne sono affetti non sembrano assomigliare a Gage, all'esterno. L'anosognosia, come viene chiamata (dalle parole greche νόσος, che vuol dire « malattia », e γνῶσις, che vuol dire « conoscenza ») è una delle sindromi neurologiche più bizzarre in cui ci si possa imbattere; il nome denota l'incapacità di riconoscere la malattia su di sé. Si pensi a un soggetto rimasto vittima di un colpo apoplettico grave e con il lato sinistro del corpo completamente paralizzato: incapace di muovere una mano e un braccio, una gamba e un piede, incapace di stare eretto o di camminare, il volto per metà immobile. E ora si consideri lo stesso soggetto inconsapevole di tale menomazione, il quale riferisce che non c'è

nulla e alla domanda: « Come si *sente?* » risponde con un sincero: « Bene! ». (Il termine anosognosia è stato impiegato anche per designare l'afasia o l'inconsapevolezza della cecità. Qui io faccio riferimento solo alla forma prototipa di tale condizione, quale è stata indicata più sopra, descritta per la prima volta da Joseph F.F. Babinski).[9]

Chi non abbia dimestichezza con l'anosognosia potrebbe pensare che il « ripudio » della infermità sia « psicologicamente » motivato, cioè che sia una reazione adattativa alla precedente afflizione. Posso affermare con sicurezza che non è così. Si consideri la disgrazia speculare, cioè il caso in cui è paralizzato il lato destro del corpo anziché quello sinistro; questi pazienti di solito non presentano anosognosia, e anche se spesso sono gravemente menomati nell'uso del linguaggio, e possono soffrire di afasia, hanno piena cognizione dello stato in cui versano. Inoltre, alcuni pazienti colpiti da una paralisi devastante sul lato sinistro, causata però da un quadro di danni cerebrali diverso da quello che provoca paralisi e anosognosia, possono avere mente e comportamento normali e rendersi conto della propria menomazione. Riassumendo: la paralisi del lato sinistro causata da un particolare quadro di danni cerebrali è accompagnata da anosognosia; la paralisi del lato destro causata da un quadro speculare di danni cerebrali non è accompagnata da anosognosia; la paralisi del lato sinistro causata da modalità di lesione cerebrale diverse da quelle associate all'anosognosia non è accompagnata da mancanza di consapevolezza. L'anosognosia, quindi, si verifica sistematicamente in caso di lesione a una particolare regione del cervello e solo a quella, in pazienti i quali possono apparire, a chi non abbia dimestichezza con il mistero della neurologia, più fortunati di quelli che sono sia paralizzati per metà sia menomati nel linguaggio. Il « ripudio » della infermità è il risultato della perdita di una particolare funzione

cognitiva, dipendente da un particolare sistema cerebrale che può essere leso da un colpo apoplettico o da varie malattie neurologiche.

L'anosognosico tipico deve essere posto di fronte alla propria manifesta menomazione perché sappia che c'è qualcosa che non va, in lui. Ogni volta che interrogavo la mia paziente DJ sulla sua paralisi (completa) al lato sinistro, mi rispondeva invariabilmente cominciando con l'affermare che i suoi movimenti erano del tutto normali, che forse una volta erano stati menomati, ma che ora non lo erano più. Se le chiedevo di muovere il braccio sinistro, inerte, cominciava a cercarlo con gli occhi e dopo avervi gettato lo sguardo mi domandava se davvero volevo che « quello » si muovesse « da sé ». Io le rispondevo di sì, e allora DJ prendeva nota *visivamente* dell'assenza di qualsiasi movimento dell'arto, aggiungendo che « non sembrava far molto, da sé »; poi, per mostrarsi collaborativa, suggeriva: « Posso muoverlo con la mano destra ».

L'incapacità di sentire la menomazione in modo automatico e rapido, e per via interna, attraverso il sistema sensoriale dell'organismo, nei casi gravi di anosognosia non scompare mai; in quelli più blandi può essere mascherata. Ad esempio, un paziente può avere il ricordo visivo dell'arto immobile e dedurne che c'è qualcosa che non va, in quella parte del corpo. Oppure il paziente può ricordare le innumerevoli dichiarazioni, fatte dai suoi parenti e dal personale medico, secondo cui c'è una paralisi, c'è un'infermità e quindi no, non è tutto normale. Affidandosi a tale sorta di informazione ottenuta dall'esterno, uno dei nostri più intelligenti soggetti anosognosici continua a dire: « *Una volta*, avevo quel problema », oppure: « *Una volta*, lo trascuravo »; e naturalmente la situazione non è cambiata. La mancanza di aggiornamento diretto sulla condizione reale dell'organismo e della persona non si può definire in altro modo che stupefacente. (Purtrop-

po, nelle discussioni sull'anosognosia, la sottile distinzione tra consapevolezza diretta e consapevolezza indiretta del proprio stato da parte del paziente va spesso perduta, o è male interpretata. Per una delle poche eccezioni, si veda A. Marcel).[10]

Nei pazienti affetti da anosognosia, non meno impressionante della dimenticanza degli arti infermi è la manifesta assenza di ogni preoccupazione per il proprio stato, l'assenza di emozione, il fatto che, interrogati al riguardo, essi riferiscono di una assenza di sentimenti. La notizia che hanno subìto un attacco grave, che c'è un forte rischio di ulteriori disturbi cerebrali o cardiaci, o che sono colpiti da un cancro esteso giunto ormai a toccare il cervello – insomma, la notizia che la loro vita non sarà più come prima – di solito è accolta con animo sereno, talvolta con macabro umorismo, mai però con angoscia o tristezza, con lacrime o rabbia, con disperazione o panico. È importante sapere che una notizia comparabilmente cattiva data a un paziente con lesioni speculari a carico dell'emisfero sinistro provoca reazioni del tutto normali. In pazienti anosognosici non si riesce a trovare emozione e sentimento, e questo è forse l'unico aspetto felice della loro condizione, per ogni altro verso tragica. Forse non è sorprendente che la loro capacità di fare programmi per il futuro, o di prendere decisioni riguardo alla sfera personale e a quella sociale, sia profondamente menomata. La paralisi rappresenta forse il minore dei loro mali.

In uno studio sistematico di pazienti affetti da anosognosia, il neuropsicologo Steven Anderson ha confermato quanto sia ampia la gamma dei deficit, e ha dimostrato che i pazienti sono incuranti della propria situazione e delle relative conseguenze quanto lo sono della paralisi che li ha colpiti.[11] Molti appaiono incapaci di prevedere la verosimiglianza di esiti infausti; se e quando riescono a prevederli, sembrano incapaci di provarne sofferenza. Di certo

non sono in grado di costruire una teoria adeguata di ciò che sta capitando loro, di ciò che potrà capitare nel futuro, di ciò che gli altri pensano sul loro conto. Non meno significativo è il fatto che non si rendono conto di quanto sia inadeguato il loro stesso teorizzare. Quando l'immagine di sé è compromessa a tal punto, può essere impossibile aver coscienza che i pensieri e le azioni di quel sé non sono più normali.

I pazienti affetti dal tipo di anosognosia appena descritto presentano lesioni all'emisfero destro (fig. 4.2). Abbozzare una caratterizzazione completa dei correlati neuroanatomici dell'anosognosia è un progetto ancora in corso, tuttavia si può dire questo: è leso un gruppo selezionato di cortecce cerebrali del lato destro note come somatosensitive (dal

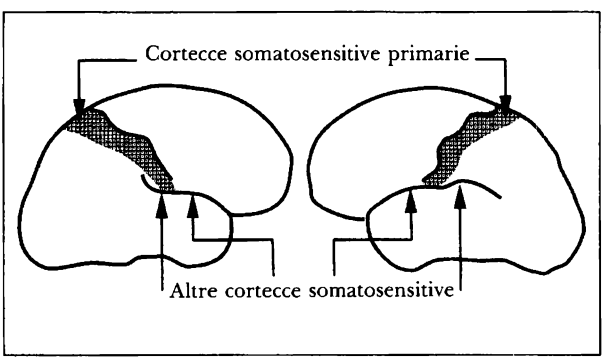

Fig. 4.2 Cervello umano: gli emisferi destro e sinistro visti dall'esterno. Le aree ombreggiate coprono le cortecce somatosensitive primarie. Altre aree somatosensitive – rispettivamente la seconda area sensitiva (S2) e l'insula – sono sepolte dentro la scissura di Silvio, in posizione immediatamente anteriore e posteriore rispetto alla base della corteccia somatosensitiva primaria, e perciò non sono visibili in una rappresentazione di superficie. (Le frecce ne indicano la localizzazione approssimativa).

greco σῶμα, corpo; al sistema somatosensitivo fanno capo sia le sensazioni esterne di tatto, temperatura, dolore, sia quelle interne di posizione delle articolazioni, stato dei visceri, dolore) e che comprendono le cortecce dell'insula di Reil, le aree citoarchitettoniche 3, 1, 2 della regione parietale e l'area S2, anch'essa parietale, nella profondità della scissura di Silvio. (Si osservi che ogni qual volta io uso il termine « somatico » o « somatosensitivo » ho in mente il soma, o corpo, in senso generale, e mi riferisco a tutti i tipi di sensazioni corporee, incluse quelle dei visceri). La lesione colpisce anche la sostanza bianca dell'emisfero destro, distruggendo l'interconnessione tra le regioni citate, che ricevono segnali da tutto il corpo (muscoli, articolazioni, organi interni), e la loro interconnessione con il talamo, i gangli basali e le cortecce motorie e prefrontali. Una lesione parziale al sistema a più componenti qui descritto *non* provoca il tipo di anosognosia di cui sto trattando.

Da molto tempo, la mia ipotesi di lavoro è che le aree cerebrali in mutua comunicazione entro la regione dell'emisfero destro lesa nell'anosognosia probabilmente producono, attraverso le loro interazioni cooperanti, la mappa più completa e integrata dello stato presente del corpo che sia disponibile per il cervello.

Il lettore potrebbe chiedersi perché mai tale mappa sia sbilanciata verso l'emisfero destro, e non bilaterale: in fin dei conti, il cervello consta di due metà quasi simmetriche. La risposta è che nella specie umana come nelle specie non umane le funzioni sembrano essere spartite in modo non simmetrico tra i due emisferi cerebrali, per ragioni che probabilmente sono legate al bisogno di avere un solo controllore finale, e non due, quando si arriva a dovere scegliere un atto o un pensiero. Se entrambi i lati avessero pari voce in capitolo, riguardo all'esecuzione di un movimento, alla fine si potrebbe avere un conflitto: la mano destra potrebbe interferire

con quella sinistra, riducendo la possibilità di produrre schemi coordinati di movimento, nei casi in cui fosse implicato più di un arto. Per un certo numero di funzioni, le strutture di un emisfero devono avere un vantaggio: tali strutture sono chiamate *dominanti*.

L'esempio meglio conosciuto di dominanza è quello che riguarda il linguaggio. In oltre il 95 per cento degli individui – inclusi molti mancini – il linguaggio dipende in larga misura dalle strutture dell'emisfero sinistro. Un altro esempio di dominanza (questa volta a favore dell'emisfero destro) riguarda il senso integrato del corpo, per il quale la rappresentazione dello stato dei visceri, da una parte, e dall'altra la rappresentazione dello stato degli apparati muscoloscheletrici di arti, tronco e capo convergono in una mappa dinamica coordinata. Si osservi che questa non è una mappa unica e continua, ma piuttosto una interazione e coordinazione di segnali di mappe separate. In tale disposizione, i segnali riguardanti entrambi i lati (sinistro e destro) del corpo trovano il loro terreno d'incontro più ampio, nell'emisfero destro, nei tre settori corticali somatosensitivi indicati in precedenza. È significativo che la rappresentazione dello spazio extrapersonale, come pure i processi dell'emozione, implichino una dominanza dell'emisfero destro.[12] Ciò non vuol dire che le strutture equivalenti dell'emisfero sinistro non rappresentino il corpo (o anche lo spazio, se è per questo); vuol dire però che le rappresentazioni sono differenti: quelle dell'emisfero sinistro probabilmente sono parziali e non integrate.

Per alcuni aspetti, i pazienti affetti da anosognosia assomigliano a quelli colpiti da lesioni prefrontali. Gli uni e gli altri, per esempio, sono incapaci di prendere decisioni appropriate su questioni personali o sociali; e i pazienti prefrontali con menomazione della capacità di decidere sono di solito indifferenti al proprio stato di salute, come gli anoso-

gnosici, e sembrano dotati di un'insolita resistenza al dolore.

Alcuni lettori ne saranno sorpresi, e potranno chiedersi perché hanno sentito parlare così poco della menomata capacità decisionale degli anosognosici. Perché lo scarso interesse riservato alla menomazione del ragionamento dopo una lesione cerebrale si è concentrato sui pazienti con lesioni prefrontali? A titolo di spiegazione, si potrebbe osservare che i pazienti con lesioni prefrontali sembrano normali, dal punto di vista neurologico (i loro movimenti, le sensazioni, il linguaggio sono integri, mentre il disturbo sta nei sentimenti e ragionamenti, menomati), e perciò possono partecipare a una varietà di interazioni sociali che renderanno manifesto il loro deficit di ragionamento. D'altra parte, i pazienti affetti da anosognosia sono il più delle volte considerati infermi a motivo delle loro lampanti menomazioni motorie e sensoriali, e perciò la gamma delle interazioni sociali a cui possono partecipare è limitata. In altre parole, è drasticamente ridotta la loro possibilità di porsi a rischio. Ma anche così i deficit di capacità decisionale ci sono, pronti a manifestarsi alla minima occasione, pronti a insidiare i migliori programmi di riabilitazione che famigliari e personale medico abbiano elaborato. Incapaci di rendersi conto della profondità della propria menomazione, costoro non mostrano quasi alcuna tendenza a collaborare con il terapeuta, né alcuna motivazione a star meglio. E perché dovrebbero, se in genere non sono consapevoli della gravità della loro condizione? L'indifferenza o la gaiezza apparenti sono ingannevoli, perché tale apparenza non è volontaria e non si basa su una conoscenza della situazione reale; e però spesso viene male interpretata come adattativa, e chi assiste e cura è erroneamente indotto a formulare una prognosi migliore per i pazienti esteriormente sereni che per le loro controparti lacrimose e angosciate della stanza accanto.

Un esempio pertinente, a questo riguardo, è offerto dal caso di William O. Douglas, giudice della Corte Suprema degli Stati Uniti, il quale nel 1975 fu colpito da apoplessia all'emisfero destro.[13] L'assenza di deficit del linguaggio faceva ben sperare per un suo ritorno al seggio che aveva occupato; o almeno così pensavano tutti, augurandosi che non si dovesse prematuramente rinunziare a un così brillante e decisivo membro della Corte. Ma i tristi eventi che seguirono narrano una storia diversa, e ci mostrano quanto problematiche possano essere le conseguenze se a un paziente affetto da tali menomazioni si consente di avere ampie interazioni sociali.

I primi segnali rivelatori sopraggiunsero presto, quando Douglas lasciò l'ospedale contro il parere dei medici; lo avrebbe fatto più di una volta, per farsi condurre alla Corte, oppure in faticosi giri di acquisti o a pranzi luculliani. Questo comportamento, assieme all'allegra disinvoltura con la quale egli attribuiva il proprio ricovero in ospedale a un « cedimento », e respingeva come una fola la paralisi al lato sinistro, fu attribuito al suo carattere e alla sua proverbiale risolutezza. Costretto a riconoscere, durante una pubblica conferenza stampa, che non era in grado di camminare o di alzarsi dalla sedia a rotelle senza aiuto, egli liquidò l'argomento con l'affermazione che « camminare non ha molto a che vedere con il lavoro della Corte »; e tuttavia invitò i giornalisti a fare un'escursione con lui, il mese seguente. Più avanti, dopo che ripetuti tentativi di riabilitazione si erano dimostrati infruttuosi, a un visitatore che gli chiedeva della sua gamba sinistra Douglas rispondeva: « Ho segnato da quaranta metri, calciando con questa gamba, giù in palestra », e scommetteva che avrebbe potuto firmare per gli Washington Redskins. Se poi lo sbalordito visitatore cercava cautamente di obiettare che forse la sua età ormai avanzata poteva costituire un impedimento non trascurabile, Douglas gli replicava ridendo:

« Sì, certo, ma dovresti vedere l'effetto che riesco a dare ai miei tiri! ». Il peggio, comunque, doveva ancora presentarsi, giacché Douglas venne più volte meno all'osservanza delle convenzioni sociali con gli altri membri della Corte e con il personale. Per quanto non in grado di assolvere il suo compito, egli si rifiutava con fermezza di dimettersi; e anche dopo essere stato costretto a farlo, sovente si comportava come se fosse ancora in carica.

I pazienti anosognosici del tipo che ho qui descritto, quindi, hanno più che una paralisi al lato sinistro della quale non sono consapevoli; hanno anche un deficit di ragionamento e di decisione, e un deficit di emozione e sentimento.

Qualche parola, adesso, riguardo alle indicazioni provenienti da lesioni all'amigdala, che è uno dei componenti principali del sistema limbico (fig. 4.3). I pazienti con lesione bilaterale confinata all'amigdala sono straordinariamente rari, e sono stati fortunati i miei colleghi Daniel Tranel, Hanna Damasio, Frederick Nahm e Bradley Hyman a poterne

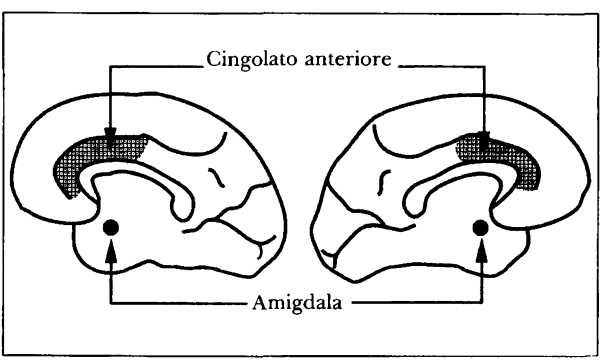

Fig. 4.3 Superficie interna di entrambi gli emisferi. Le aree ombreggiate individuano la corteccia del cingolato anteriore. I pallini neri indicano la proiezione dell'amigdala sulla superficie interna dei lobi temporali.

studiare uno: una donna, con un quadro di inadeguatezza personale e sociale esteso su tutto l'arco della sua esistenza.[14] È indubbio che la gamma e l'appropriatezza delle sue emozioni sono menomate, e che in lei c'è scarsa preoccupazione per le situazioni problematiche nelle quali si pone. La « follia » del suo comportamento non è dissimile da quella riscontrata in Phineas Gage o in pazienti affetti da anosognosia e, come in costoro, non può essere imputata a carenze educative o a scarsa intelligenza: la donna ha un diploma di scuola secondaria e il suo quoziente d'intelligenza rientra nella fascia normale. Inoltre, con una serie di ingegnosi esperimenti Ralph Adolphs ha potuto mostrare che in lei è profondamente anormale la valutazione degli aspetti più sottili dell'emozione. Certo, sono risultati che attendono una replica e una conferma da casi confrontabili, prima che si possa attribuire loro un peso eccessivo; però devo aggiungere che lesioni equivalenti in scimmie provocano un deficit nell'elaborazione delle emozioni, come ha mostrato per primo Larry Weiskrantz e come poi hanno confermato Aggleton e Passingham.[15] Inoltre, lavorando su ratti, Joseph LeDoux ha mostrato oltre ogni ombra di dubbio che l'amigdala ha un ruolo, nelle emozioni (su questi risultati dirò di più nel cap. 7).

Una riflessione su anatomia e funzione

La precedente rassegna delle condizioni neurologiche nelle quali compaiono menomazioni del ragionamento/decisione e dell'emozione/sentimento rivela con piena evidenza quanto segue.

In primo luogo, nel cervello umano vi è una regione (le cortecce prefrontali ventromediane) la cui lesione compromette sia il ragionamento/decisione sia l'emozione/sentimento, soprattutto nel dominio personale e sociale. Per metafora si potrebbe dire

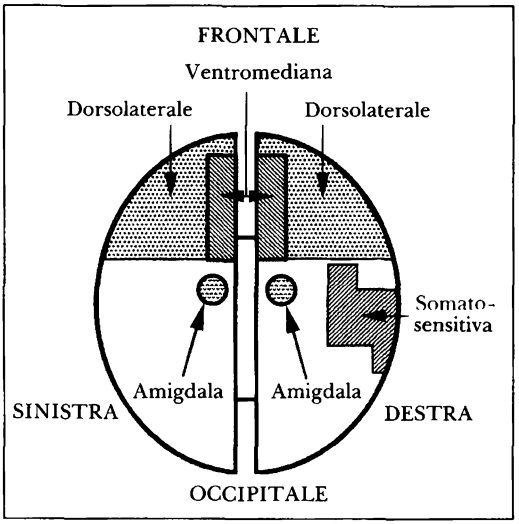

Fig. 4.4 L'insieme delle regioni nelle quali una lesione danneggia sia il ragionamento sia l'elaborazione delle emozioni.

che ragione ed emozione « si incrociano » nelle cortecce prefrontali ventromediane, e così pure nell'amigdala.

In secondo luogo, nel cervello umano vi è una regione (il complesso delle cortecce somatosensitive dell'emisfero destro) la cui lesione pure compromette il ragionamento e la decisione, ma secondo uno schema differente: o il difetto è molto più ampio, tale da mettere a repentaglio tutte le attività dell'intelletto in tutti i domìni, oppure è più selettivo, e minaccia le operazioni su parole, numeri, oggetti, o sullo spazio, piuttosto che quelle relative al dominio personale e sociale. La figura 4.4 mostra una mappa schematica di tali intersezioni critiche.

In breve, sembra che nel cervello umano vi sia una collezione di sistemi coerentemente deputati a quel processo di pensiero orientato verso un fine

che chiamiamo ragionamento e a quella selezione delle risposte che chiamiamo decisione, con un'enfasi particolare verso il dominio sociale e personale. La medesima collezione di sistemi è implicata anche nell'emozione e nel sentimento, e in parte è deputata a elaborare i segnali corporei.

Una sorgente

Prima di abbandonare l'argomento delle lesioni del cervello umano, voglio avanzare l'idea che in questo vi sia una particolare regione nella quale i sistemi attinenti a emozione/sentimento, attenzione e memoria operativa interagiscono tanto a fondo che essi costituiscono la sorgente dell'energia sia dell'azione esterna (movimento) sia di quella interna (ragionamento, animazione del pensiero). Questa regione è la corteccia anteriore del giro del cingolo, un'altra tessera del *puzzle* del sistema limbico.

Mi sono fatto quest'idea dopo avere osservato un gruppo di pazienti con lesioni in tale area e nei dintorni di essa. L'espressione migliore per descrivere il loro stato è «animazione sospesa», mentale ed esterna: l'estrema varietà di una menomazione del ragionamento e dell'espressione di emozioni. Le regioni chiave danneggiate includono la corteccia anteriore del giro del cingolo (o più semplicemente del «cingolato»), l'area motoria supplementare (nota in breve come SMA o M2) e la terza area motoria (nota come M3).[16] In alcuni casi sono implicate anche aree prefrontali contigue, ad esempio la corteccia motoria nella superficie interna dell'emisfero (fig. 4.5). Nel loro insieme, le aree contenute in questo settore del lobo frontale sono state associate al movimento, all'emozione e all'attenzione (è nozione acquisita il loro coinvolgimento nella funzione motoria; per quanto riguarda il coinvolgimento nell'emozione e nell'attenzione, si vedano rispettivamente

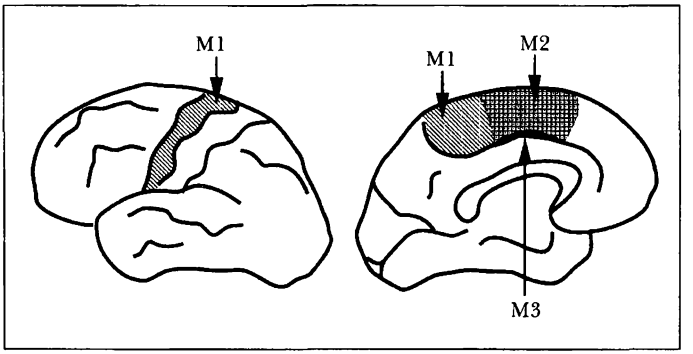

Fig. 4.5 L'emisfero sinistro del cervello umano visto dall'esterno (a sinistra) e dall'interno (a destra). È indicata la localizzazione delle tre principali regioni motorie corticali: M1, M2 e M3. M1 comprende la cosiddetta « striscia motoria » che compare in molti disegni del cervello, spesso sormontata da una figura rozzamente umana (l'« omuncolo di Penfield »). M2, meno conosciuta, è l'area motoria supplementare - la parte interna dell'area 6. Ancor meno conosciuta è la M3, che si trova sepolta ben addentro nel solco del cingolato.

Damasio e van Hoesen, 1983, e Petersen e Posner, 1990).[17] Una lesione in questo settore non solo provoca menomazioni del movimento, dell'emozione e della capacità di attenzione, ma determina anche una sospensione virtuale dell'animazione degli atti e dei processi di pensiero, cosicché la ragione non è più esercitabile. Può illustrarlo bene la storia di una mia paziente, che chiamerò signora T.

In questa paziente, un colpo apoplettico aveva provocato danni estesi alle regioni dorsale e mediana del lobo frontale, in entrambi gli emisferi. Di colpo essa piombò nell'immobilità, e fu privata della parola: se ne stava nel letto con gli occhi aperti ma con il volto privo di espressione: un atteggiamento che spesso ho definito con l'aggettivo « neutro » per indicarne l'imperturbabilità – o assenza.

Non più animato del volto era il suo corpo. La signora T. era in grado di compiere un movimento normale con braccio e mano (ad esempio per tirarsi su le coperte), ma in genere i suoi arti erano a riposo. Interrogata sulla sua condizione, di solito rimaneva in silenzio, anche se dopo molte insistenze sapeva dire il proprio nome, o quello del marito e dei figli, o il nome della città in cui viveva. Ma nulla diceva della sua storia clinica, passata o presente, e non era capace di descrivere gli eventi che avevano portato al suo ricovero in ospedale. Così, non v'era modo di sapere se la donna non avesse alcun ricordo di tali eventi, o se li ricordasse ma fosse restìa o inabile a parlarne. Le mie ripetute domande non la turbarono mai, né mai mostrò un barlume di ansia riguardo a sé stessa o a qualcos'altro. Mesi dopo, mentre veniva gradualmente emergendo dallo stato di mutismo e acinesia (assenza di movimento) e cominciava a rispondere alle domande, lei stessa avrebbe chiarito il mistero del suo stato mentale. Al contrario di quanto si sarebbe potuto pensare, la sua mente non era stata imprigionata nel carcere della sua immobilità: sembrava, invece, che di mente proprio non ve ne fosse stata granché, nessun vero pensiero o ragionamento. La passività del suo volto e del suo corpo erano l'appropriato riflesso della sua mancanza di animazione mentale. Ora era sicura di non aver provato angoscia per l'assenza di comunicazione: nulla l'aveva costretta a non dire quel che aveva dentro; piuttosto, come ricordava, « non avevo proprio nulla da dire ».

Ai miei occhi, la signora T. era stata priva di emozioni; secondo la sua esperienza, sembra che per tutto quel tempo non avesse avuto sentimenti. Ai miei occhi, la donna non aveva prestato attenzione specifica agli stimoli esterni che le erano stati presentati, né aveva internamente seguito la loro rappresentazione, o la rappresentazione delle evocazioni correlate. Potrei dire che la sua volontà era

stata svuotata, e tale sembra essere stata anche la sua riflessione. (Francis Crick ha adottato il mio suggerimento secondo cui in pazienti affetti da tali lesioni la volizione è svuotata, e ha considerato l'ipotesi di un substrato neurale del libero arbitrio).[18] In breve, vi era una diffusa menomazione della pulsione tramite la quale possono essere generati movimenti e immagini mentali e dei mezzi tramite i quali possono essere esaltati. L'assenza di tale pulsione si traduceva, all'esterno, in acinesia, mutismo, espressione assente del volto. All'apparenza, nella mente della signora non vi erano stati ragionamento e pensiero normalmente differenziati, e naturalmente nessuna decisione veniva presa, tanto meno attuata.

Prove dagli studi su animali

Tali studi offrono altra materia alla tesi che vado qui costruendo. Il primo che voglio ora discutere risale agli anni Trenta. Un'osservazione compiuta su scimpanzè sembra aver fornito, se non l'impulso per il progetto della leucotomia prefrontale, almeno il robusto incoraggiamento di cui Moniz aveva bisogno per far procedere la sua idea. Alla Yale University, J.F. Fulton e C.F. Jacobsen compivano ricerche sull'apprendimento e la memoria,[19] servendosi di due scimpanzè, Becky e Lucy, che non erano soggetti gradevoli: quando erano frustrati – e ciò capitava con facilità – diventavano cattivi. Nel corso del loro studio, Fulton e Jacobsen decisero di indagare in qual modo un danno alla corteccia prefrontale alterasse l'apprendimento di un compito sperimentale. In una prima fase, i due ricercatori intervennero su un lobo frontale, senza conseguenze o quasi sulle prestazioni o sulla personalità degli animali. Nella fase successiva, essi intervennero sull'altro lobo frontale; allora accadde qualcosa, e qualcosa di notevole. In circostanze nelle quali, in

precedenza, Becky e Lucy erano stati frustrati, ora sembravano non curarsene; invece di mostrarsi rabbiosi e cattivi, ora restavano mansueti. Durante il Congresso mondiale di Neurologia tenutosi a Londra nel 1935, Jacobsen diede ai colleghi che riempivano la sala una vivida descrizione del cambiamento sopravvenuto;[20] e si può supporre che nell'ascoltare la sua relazione Moniz si sia alzato per chiedere se lesioni analoghe, prodotte sul cervello di pazienti psicotici, non potessero offrire una soluzione ad alcuni dei problemi che li affliggevano, senza che uno sbalordito Fulton fosse in grado di rispondere.

Una lesione bilaterale prefrontale del tipo già descritto preclude la normale esibizione delle emozioni e – non meno importante – provoca anormalità del comportamento sociale. Si deve a Ronald Myers una serie di studi illuminanti che mostrano come scimmie (non antropomorfe) sottoposte ad ablazione prefrontale bilaterale (che tocchi sia i settori dorsolaterali sia quelli ventromediani ma lasci integra la regione del cingolato) non mantengono relazioni sociali normali all'interno del loro gruppo, nonostante il fatto che nulla è cambiato nel loro aspetto fisico.[21] Nelle scimmie operate, le cure corporali (di sé stesse e degli altri individui) sono molto ridotte; lo stesso vale per le interazioni affettive con gli altri individui, non importa se maschi, femmine o cuccioli; vocalizzazioni ed espressioni del volto sono impoverite; il comportamento materno è menomato; infine, si osserva indifferenza sessuale. Questi individui possono muoversi normalmente, ma non entrano in relazione con gli altri membri del gruppo al quale appartenevano prima dell'intervento, né gli altri membri entrano in relazione con loro, mentre riescono a stabilire relazioni normali con scimmie che presentano gravi deficit fisici (come una paralisi) ma che non hanno subìto danni prefrontali. Anche se le scimmie paralizzate sembrano

più gravemente inabilitate di quelle con lesioni prefrontali, esse cercano e ricevono il sostegno degli individui loro pari.

È corretto supporre che le scimmie con lesioni prefrontali non siano più in grado di osservare le complesse convenzioni sociali che sono proprie dell'organizzazione di un gruppo (relazioni gerarchiche tra i suoi diversi membri, dominanza di alcune femmine e di alcuni maschi sugli altri membri, ecc.).[22] È verosimile che esse risultino inadeguate in termini di « cognizione sociale » e di « comportamento sociale », e che gli altri animali reagiscano in modo analogo. Si noti che scimmie con danni alla corteccia motoria ma non alla corteccia prefrontale non mostrano tali difficoltà.

Scimmie sottoposte ad ablazione bilaterale del settore anteriore del lobo temporale (a seguito di interventi che *non* danneggiano l'amigdala) rivelano qualche menomazione del comportamento sociale, ma in misura di gran lunga più modesta rispetto a quelle con lesioni prefrontali. Nonostante le marcate differenze neurobiologiche tra scimmie e scimpanzè, e tra scimpanzè ed esseri umani, il deficit provocato da lesione prefrontale mostra una essenza sempre presente: il comportamento personale e sociale è gravemente compromesso.[23]

Il lavoro di Fulton e Jacobsen offre altre indicazioni importanti. Come si è già detto, il loro studio aveva lo scopo di comprendere apprendimento e memoria, e da questo punto di vista i loro risultati costituiscono una pietra miliare. Uno dei compiti assegnati dai ricercatori ai due scimpanzè era apprendere un'associazione esistente tra uno stimolo premiante e la sua posizione nello spazio. L'esperimento era organizzato in questo modo: uno dei due animali aveva davanti a sé, a portata di braccio, due recipienti, e in uno di questi veniva messo un pezzo di cibo, facendo in modo che l'animale potesse vedere;

poi i due recipienti venivano coperti, cosicché il cibo non era più visibile. Dopo un intervallo di alcuni secondi, l'animale doveva raggiungere il recipiente nel quale era nascosto il cibo, trascurando l'altro, vuoto. In condizioni normali l'animale serbava conoscenza della collocazione del cibo per tutta la durata dell'intervallo, e quindi compiva il movimento appropriato per raggiungerlo. Dopo una lesione prefrontale, invece, non era più in grado di eseguire questo compito: non appena lo stimolo era fuori della vista, a quanto sembra, era anche fuori della mente. Questi risultati divennero il fondamento delle successive indagini neurofisiologiche sulla corteccia prefrontale fatte da Patricia Goldman-Rakic e da Joaquim Fuster.[24]

Un risultato recente, che ha particolare rilievo per la mia tesi, riguarda la concentrazione di uno dei recettori chimici della serotonina nel settore ventromediano della corteccia prefrontale e nell'amigdala. La serotonina è uno dei principali neurotrasmettitori, cioè di quelle sostanze la cui azione contribuisce a quasi tutti gli aspetti del comportamento e della cognizione. (Altri neurotrasmettitori chiave sono la dopamina, la norepinefrina – o noradrenalina – e l'acetilcolina: tutte queste sostanze sono emesse da neuroni posti in piccoli nuclei del midollo allungato o del prosencefalo basale, i cui assoni terminano nella neocorteccia, nei componenti corticali e subcorticali del sistema limbico, nei gangli basali e nel talamo). Nei primati, una delle funzioni della serotonina è quella di inibire il comportamento aggressivo (curiosamente, in altre specie essa ha funzioni diverse). Si osserva sperimentalmente che, quando se ne impedisce l'emissione ai neuroni dai quali la serotonina proviene, una delle conseguenze è che gli animali si comportano in modo impulsivo e aggressivo. In generale, intensificare l'azione della se-

rotonina riduce l'aggressività e favorisce il comportamento sociale.

In questo quadro è importante osservare, come ci mostra il lavoro di Michael Raleigh,[25] che nelle scimmie non antropomorfe il cui comportamento è socialmente ben armonizzato (lo si può misurare sulla base delle esibizioni di cooperazione, cure corporali, vicinanza agli altri individui) il numero dei recettori della serotonina-2 è molto alto nel lobo frontale ventromediano, nell'amigdala e nelle cortecce temporali mediane più vicine, ma non in altri punti del cervello, mentre vale l'opposto per le scimmie che mostrano comportamento antagonistico, non cooperativo. L'osservazione conferma il legame di sistema tra cortecce ventromediane prefrontali e amigdala che ho suggerito sulla base di risultati neuropsicologici, e mette in relazione queste aree con il comportamento sociale, che è il principale dominio affetto per quanto riguarda l'alterata capacità decisionale dei miei pazienti. (Si designano con « serotonina-2 » i recettori della serotonina identificati in questo studio perché ne esistono molti tipi differenti: in effetti, non meno di quattordici).

Digressione sulle spiegazioni neurochimiche

Quando si vuole spiegare la mente e il comportamento, fare appello alla neurochimica non basta; occorre sapere dove si pone la chimica, nel sistema che si suppone provochi un dato comportamento. Senza conoscere le regioni corticali o i nuclei nei quali la sostanza chimica agisce, all'interno del sistema, non v'è alcuna possibilità di arrivare anche solo a comprendere come essa modifichi la prestazione del sistema – e si badi che tale comprensione è appena il primo passo, che precede l'eventuale chiarimento del modo in cui operano i circuiti

a grana più fine. Per di più, la spiegazione neurale comincia a essere utile solo quando si rivolge ai risultati dell'attività di un dato sistema su un altro. È sbagliato ridurre, con affermazioni superficiali, le importanti conclusioni descritte nel paragrafo precedente al risultato che la serotonina da sola « causa » un comportamento sociale adattativo e che la sua mancanza « causa » aggressività. La presenza o l'assenza di serotonina in specifici sistemi cerebrali aventi specifici recettori per tale sostanza modifica il loro funzionamento, e tale cambiamento a sua volta modifica il funzionamento di altri sistemi ancora, con un risultato che alla fine sarà espresso in termini cognitivi e di comportamento.

Queste osservazioni sulla serotonina sono tanto più opportune alla luce della recente notorietà che tale neurotrasmettitore si è conquistata. È oggetto di larga attenzione un farmaco antidepressivo molto diffuso, il Prozac, che agisce bloccando la ricaptazione della serotonina e probabilmente aumentandone la disponibilità. Su quotidiani e rotocalchi si è affacciata la nozione secondo cui bassi livelli di serotonina potrebbero essere correlati con una propensione alla violenza. Il problema è che a « causare » una determinata manifestazione non è di per sé l'assenza (o una ridotta presenza) di serotonina: questa è parte di un meccanismo straordinariamente complicato che agisce al livello di molecole, sinapsi, circuiti locali e sistemi, e nel quale intervengono robustamente anche fattori socioculturali, passati e presenti. Una spiegazione soddisfacente può scaturire solo da una visione più complessiva dell'intero processo, che analizzi da vicino le variabili significative di un dato problema, quali la depressione o l'adattabilità sociale.

In termini più pratici: non si risolverà il problema della violenza sociale rivolgendo l'attenzione solo ai problemi sociali e ignorando i correlati neurochimici, né incolpando solo questi ultimi. Occorre prendere in considerazione sia i fattori neurochimici sia quelli sociali, nella giusta misura.

Conclusione

Gli elementi discussi in questo capitolo relativi a soggetti umani suggeriscono un legame stretto fra una serie di aree cerebrali e i processi di ragionamento e di decisione. Gli studi condotti su animali hanno rivelato che alcuni degli stessi legami coinvolgono alcune delle stesse aree. Riunendo le indicazioni fornite dagli studi su soggetti umani e su animali si possono elencare alcuni fatti sul ruolo dei sistemi neurali che abbiamo identificato.

In primo luogo, questi sistemi sono certamente implicati nei processi della ragione, nel senso ampio del termine; in particolare, sono implicati nel pianificare e nel decidere.

In secondo luogo, un sottoinsieme di tali sistemi è associato al pianificare e al decidere, comportamenti che si potrebbero fare rientrare sotto l'etichetta « personali e sociali ». Qualcosa lascia intravedere che tali sistemi siano in relazione con quell'aspetto della ragione che va di solito sotto il nome di « razionalità ».

In terzo luogo, i sistemi che abbiamo identificato hanno una funzione importante nell'elaborazione delle emozioni.

In quarto luogo, i sistemi sono necessari per tenere a mente, per un intervallo di tempo prolungato, l'immagine di un oggetto che è pertinente ma che non è più presente.

Perché ruoli così disparati dovrebbero confluire

in un settore circoscritto del cervello? Che cosa potrebbe esservi di comune tra le seguenti attività: pianificare e assumere decisioni, personali e sociali; elaborare emozioni; tenere a mente un'immagine in assenza della cosa che essa rappresenta?

PARTE SECONDA

5
ELEMENTI DI UNA SPIEGAZIONE

Una misteriosa alleanza

Nella prima parte, lo studio dei pazienti con sopravvenute menomazioni del ragionamento e della decisione ha portato a identificare in loro un particolare insieme di sistemi cerebrali che erano stati danneggiati. Inoltre, ha permesso di individuare un gruppo apparentemente bizzarro di processi neuropsicologici che dipendevano dall'integrità di quei sistemi. Ma, innanzitutto, che cosa connette tali processi tra loro, e che cosa li lega ai sistemi neurali descritti a grandi linee nel capitolo precedente? Qui tenteremo di dare alcune risposte provvisorie.

In primo luogo, raggiungere una decisione riguardo al tipico problema personale posto in un ambiente sociale, che è complesso e il cui esito è incerto, richiede sia conoscenze estese sia strategie di ragionamento che consentano di operare su tali conoscenze: queste includono fatti riguardanti oggetti, persone, situazioni del mondo esterno. Ma le decisioni personali e sociali non sono separabili dalla sopravvivenza, e perciò le conoscenze includono anche fatti e meccanismi riguardanti la regolazione dell'organismo nel suo insieme. Le strategie di ra-

gionamento ruotano attorno a obiettivi, scelte di azione, previsioni di esiti futuri e programmi per il conseguimento di quegli obiettivi a varie scale temporali.

In secondo luogo, i processi dell'emozione e del sentimento sono parte essenziale dell'apparato neurale per la regolazione biologica, il cui nucleo è costituito da controlli omeostatici, pulsioni e istinti.

In terzo luogo, per il modo in cui è fatto il cervello, l'estesa conoscenza necessaria dipende da numerosi sistemi che si trovano in regioni cerebrali relativamente separate, piuttosto che in un'unica regione. Larga parte di tale conoscenza viene richiamata sotto forma di immagini in molti siti cerebrali anziché in uno solo. Anche se è comune l'illusione che ogni cosa confluisca in un unico teatro anatomico, recenti risultati suggeriscono che non è così. Probabilmente, lo svolgersi relativamente simultaneo delle attività in siti diversi lega assieme le parti separate della mente.

In quarto luogo, dal momento che solo in modo distribuito e « per pacchetti » è possibile richiamare la conoscenza da siti in molti sistemi paralleli, perché le strategie di ragionamento possano operare occorre che la rappresentazione di miriadi di fatti sia mantenuta attiva in un'ampia mostra parallela e per un lasso di tempo prolungato (al minimo per diversi secondi). In altre parole, le immagini sulle quali ragioniamo (immagini di specifici oggetti, azioni e schemi relazionali, nonché di parole che aiutano a tradurre quelle immagini in forma linguistica) non solo debbono essere « a fuoco » (qualcosa che si consegue con l'attenzione), ma devono essere anche « mantenute attive nella mente » (il che si consegue mediante la memoria operativa di ordine superiore).

Io sospetto che la misteriosa alleanza dei processi svelati alla fine del capitolo precedente sia dovuta in parte alla natura del problema che l'organismo si

trova a risolvere e in parte al modo in cui è fatto il cervello. Le decisioni personali e sociali sono cariche di incertezza e, in modo diretto o indiretto, hanno un influsso sulla sopravvivenza; perciò richiedono un ampio repertorio di conoscenze riguardanti il mondo esterno e il mondo interno all'organismo. E però, dal momento che il cervello conserva e richiama le conoscenze in modo spazialmente confinato anziché integrato, esse richiedono anche attenzione e memoria operativa, affinché quel componente di conoscenza che viene richiamato come esibizione di immagini possa essere manipolato al tempo giusto.

Quanto alla ragione per cui i sistemi neurali identificati si sovrappongono con tanta evidenza, io credo che vada ricercata nella convenienza evolutiva. Se una regolazione biologica di base è essenziale per guidare il comportamento personale e sociale, allora è verosimile che nella selezione naturale sia prevalsa una conformazione del cervello nella quale i sottosistemi preposti alla decisione e al ragionamento rimanevano strettamente allacciati a quelli connessi con la regolazione biologica, dato che gli uni e gli altri sono implicati nella sopravvivenza.

La spiegazione generale anticipata in tali risposte permette di cominciare ad avvicinarsi alle domande poste dal caso di Phineas Gage: che cos'è, nel cervello, che consente agli esseri umani di comportarsi in modo razionale? E come opera? Di solito sono restio a includere il tentativo di rispondere a tali domande nell'espressione « neurobiologia della razionalità », che suona ufficiale e pretenziosa, ma di questo si tratta, *in nuce*: dei germogli di una neurobiologia della razionalità umana al livello dei sistemi cerebrali a larga scala.

In questa seconda parte, voglio considerare la plausibilità della spiegazione generale accennata più sopra e farne discendere un'ipotesi che si possa mettere alla prova. Ma l'argomento ha ampie ra-

mificazioni; per questo restringerò la discussione a un numero selezionato di punti necessari per rendere più comprensibili le idee esposte.

Questo capitolo è un ponte tra i fatti della prima parte e le interpretazioni che darò più avanti; spero che il lettore non lo consideri un'interruzione. Esso ha diversi scopi: passare in rassegna le nozioni alle quali mi richiamerò spesso (ad esempio organismo, corpo, cervello, comportamento, mente, stato); discutere brevemente le basi neurali della conoscenza, con un'attenzione particolare per la sua natura «a pacchetti» e per la sua dipendenza dalle immagini; formulare commenti sullo sviluppo neurale. Non sarò esauriente (sarebbe stata opportuna e utile, ad esempio, una discussione sull'apprendimento e sul linguaggio, ma nessuno dei due argomenti è indispensabile per il fine che mi prefiggo); di nessun tema darò una trattazione da libro di testo; non giustificherò ogni opinione qui espressa. Si tratta, il lettore ricorderà, di una conversazione.

I capitoli successivi torneranno alla vicenda principale e toccheranno la regolazione biologica, il modo in cui questa si esprime nell'emozione e nel sentimento, e i meccanismi attraverso i quali emozione e sentimento possono essere impiegati nel decidere.

Qui sarà opportuno ripetere un'osservazione già fatta nell'Introduzione: il mio libro è un'indagine aperta, piuttosto che un catalogo di fatti assodati; io prendo in esame ipotesi e test empirici, non faccio affermazioni di certezza.

Su organismi, corpi e cervelli

Quali che siano le possibili domande riguardo a chi siamo e perché siamo come siamo, è sicuro che noi siamo organismi viventi complessi, dotati di un corpo in senso stretto (corpo, in breve) e di un sistema nervoso (cervello, in breve). Ogni volta che mi

riferisco al corpo io intendo l'intero organismo meno il tessuto nervoso (componenti centrali e periferici del sistema nervoso), anche se in senso convenzionale il cervello è parte del corpo.

L'organismo ha una struttura e miriadi di componenti: ha uno scheletro osseo con molte parti, connesse mediante articolazioni e mosse da muscoli; ha numerosi organi, combinati in sistemi; ha una superficie di delimitazione esterna, o membrana, costituita in gran parte da pelle. In alcune occasioni farò riferimento agli organi – vasi sanguigni, organi della testa, del torace e dell'addome – chiamandoli « visceri ». Anche qui, vi andrebbe incluso il cervello, nel senso convenzionale, ma io lo escludo.

Ogni parte dell'organismo è fatta di tessuti biologici, a loro volta fatti di cellule. Ogni cellula è costituita da numerose molecole disposte in modo da creare uno scheletro per la cellula (citoscheletro), svariati organi e sistemi (nuclei e vari organelli cellulari) e una superficie di confine che abbraccia il tutto (membrana cellulare). La complessità di strutture e funzioni è scoraggiante, quando si guarda a una di tali cellule in azione, ed è sbalorditiva, quando si guarda a un sistema di organi del corpo.

Stati degli organismi

Nella trattazione che segue, si farà spesso riferimento a « stati corporei » e « stati mentali ». Gli organismi viventi cambiano in continuazione, assumendo una successione di « stati », ciascuno dei quali è definito da svariate configurazioni di attività in corso in tutti i suoi componenti: lo si potrebbe raffigurare come l'insieme composito delle azioni di una moltitudine di persone e di oggetti operanti all'interno di un'area circoscritta. Immaginate di trovarvi al terminal di un grande aeroporto e di guardarvi in giro, all'interno e all'esterno; potete vedere

e udire l'affaccendarsi continuo di molti sistemi differenti: gente che si imbarca o sbarca dagli aerei, che se ne sta seduta o in piedi; gente che si muove o cammina con uno scopo apparente; aerei che rullano, che decollano, che atterrano; meccanici e addetti ai bagagli che si spostano per il proprio lavoro. E ora supponete di bloccare sul fotogramma questo filmato, o di riprendere un'istantanea della scena con un obiettivo grandangolare: otterrete l'immagine di uno *stato*, un'artificiosa, momentanea sezione di vita indicante ciò che stava accadendo nei vari organi di un vasto organismo durante la finestra temporale definita dalla velocità dell'otturatore. (Le cose, in realtà, sono un po' più complicate di così: a seconda della scala a cui si effettua l'analisi, gli stati degli organismi possono essere unità discrete, oppure fondersi in continuazione).

Corpo e cervello interagiscono: l'organismo dall'interno

Cervello e corpo sono indissolubilmente integrati da circuiti neurali e biochimici che dall'uno puntano all'altro, e viceversa. Due sono le principali vie di interconnessione: quella alla quale si pensa per prima è costituita da nervi periferici sensitivi e motori, che convogliano segnali da ogni parte del corpo al cervello e dal cervello a ogni parte del corpo. L'altra via, alla quale è meno immediato pensare, anche se è molto più antica dal punto di vista evolutivo, è il flusso sanguigno, che trasporta segnali chimici quali ormoni, neurotrasmettitori, modulatori.

Basta una sintesi semplificata per rivelare quanto siano intricate tali relazioni.

1) Quasi ogni parte del corpo – ogni muscolo, ogni articolazione, ogni organo interno – può mandare segnali al cervello attraverso i nervi periferici. Questi segnali entrano nel cervello al livello del mi-

dollo spinale o del midollo allungato e alla fine vengono portati dentro il cervello, di stazione neurale in stazione neurale, fino alle cortecce somatosensitive nel lobo parietale e nelle regioni dell'insula.

2) Attraverso il flusso sanguigno le sostanze chimiche prodotte dall'attività del corpo possono raggiungere il cervello e influire sul suo funzionamento, o direttamente oppure attivando particolari siti cerebrali come l'organo subfornicale.

3) Nel verso opposto, il cervello può agire su tutte le parti del corpo, attraverso i nervi. Gli agenti sono il sistema nervoso autonomo (o vegetativo) e il sistema nervoso muscoloscheletrico (o volontario). I segnali per il sistema nervoso autonomo scaturiscono dalle regioni evolutivamente più antiche (amigdala, cingolato, ipotalamo e midollo allungato), mentre quelli per il sistema muscoloscheletrico scaturiscono da diverse cortecce motorie e nuclei motori subcorticali, di varie età evolutive.

4) Il cervello agisce sul corpo anche producendo o ordinando la produzione di sostanze chimiche che vengono liberate nel flusso sanguigno: ad esempio ormoni, trasmettitori e modulatori. (Su questo punto, altri particolari verranno dati nel capitolo seguente).

Quando affermo che corpo e cervello formano un organismo indissolubile non esagero; in realtà, sto semplificando troppo. Si consideri che il cervello riceve segnali non solo dal corpo, ma – in alcuni suoi settori – da proprie parti che ricevono segnali dal corpo! L'organismo costituito dalla associazione corpo-cervello interagisce con l'ambiente come un tutt'uno: l'interazione non è del solo corpo né del solo cervello. Ma organismi complessi quali i nostri non si limitano a interagire, a generare le risposte esterne – spontanee o reattive – complessivamente designate come comportamento. Essi generano anche risposte interne, alcune delle quali costituisco-

no immagini (visive, uditive, somatosensoriali, ecc.), che io suppongo essere la base della mente.

Su mente e comportamento

Molti organismi semplici (anche quelli costituiti da una sola cellula e privi di cervello) eseguono azioni, spontaneamente o in risposta a stimoli dell'ambiente: in altre parole, producono comportamento. Alcune di tali azioni sono racchiuse all'interno degli organismi stessi e possono essere celate a un osservatore (ad esempio, la contrazione di un organo interno), oppure osservabili dall'esterno (ad esempio, una mioclonia, o l'estensione di un arto); altre azioni (strisciare, camminare, tenere un oggetto) sono dirette verso l'ambiente. Ma in alcuni organismi semplici e in tutti quelli complessi le azioni – sia spontanee sia reattive – sono provocate da comandi provenienti da un cervello. (Si osservi che organismi dotati di corpo e non di cervello, ma capaci di movimento, precedettero e poi coesisterono con organismi dotati sia di corpo sia di cervello).

Non tutti gli atti comandati da un cervello sono deliberati; al contrario, è corretto supporre che la massima parte delle cosiddette azioni provocate dal cervello, compiute in un momento qualsiasi, non lo sia affatto. Esse sono semplici risposte, delle quali dà esempio un riflesso: uno stimolo convogliato da un neurone che porta un altro neurone ad agire.

Via via che gli organismi acquisivano complessità sempre maggiore, le azioni « provocate dal cervello » richiedevano più elaborazione intermedia: tra il neurone di stimolo e il neurone di risposta venivano interpolati altri neuroni, e così venivano allestiti circuiti paralleli diversi; ma non ne seguì che l'organismo dotato del cervello più complicato dovesse avere una mente. I cervelli possono presentare molti stadi intermedi nei circuiti che collegano stimolo

e risposta, e tuttavia non avere menti, se non soddisfano una condizione essenziale: la capacità di dispiegare immagini internamente e di ordinarle in un processo chiamato pensiero. (Le immagini non sono soltanto visive: vi sono anche « immagini sonore », « immagini olfattive », ecc.). Ora è possibile completare la mia affermazione sugli organismi con un comportamento dicendo che non tutti hanno una mente, e cioè che non tutti presentano fenomeni mentali (il che equivale a dire che non tutti hanno cognizione, cioè processi cognitivi). Alcuni organismi hanno sia comportamenti sia cognizione; alcuni presentano azioni intelligenti ma nessuna mente: non sembra esservi alcun organismo che sia dotato di mente e non manifesti azione.

A mio giudizio, allora, avere una mente significa questo: un organismo forma rappresentazioni neurali che possono divenire immagini, essere manipolate in un processo chiamato pensiero e alla fine influenzare il comportamento aiutando a prevedere il futuro, a pianificare di conseguenza e a scegliere la prossima azione. Qui sta il centro della neurobiologia, secondo la mia concezione: il processo tramite il quale le rappresentazioni neurali, che consistono di modificazioni biologiche create in un circuito neuronico dall'apprendimento, diventano immagini nella nostra mente; il processo che consente a invisibili modificazioni microstrutturali dei circuiti neuronici (nei corpi cellulari, nei dendriti, negli assoni e nelle sinapsi) di diventare una rappresentazione neurale, e questa a sua volta diviene un'immagine che ciascuno di noi avverte come propria.

In prima approssimazione, la funzione generale del cervello è quella di essere informato su ciò che avviene nel resto del corpo, su ciò che avviene nel cervello stesso, e sull'ambiente che circonda l'organismo, in modo che tra organismo e ambiente si possa raggiungere un adattamento adeguato e propizio alla sopravvivenza. Secondo una prospettiva

evoluzionistica, non si dà il contrario: se non vi fosse stato corpo, non vi sarebbe stato cervello. Per inciso, di organismi semplici dotati di corpo e di comportamento, ma non di cervello o di mente, ce ne sono ancora, e tanti: anzi, in realtà sono di molti ordini di grandezza più numerosi degli esseri umani. Basta pensare ai molti batteri come *Escherichia coli* che vivono beati dentro ciascuno di noi.

Organismo e ambiente interagiscono: confronto con il mondo di fuori

Se corpo e cervello interagiscono in modo intenso, non meno vigorosamente l'organismo che essi formano interagisce con ciò che gli sta attorno. Tali relazioni sono mediate dai movimenti dell'organismo e dai suoi dispositivi sensoriali.

L'ambiente appone il proprio segno sull'organismo in una varietà di modi: ad esempio, stimolando l'attività neurale nell'occhio (dentro il quale si trova la rètina), nell'orecchio (dentro il quale si trovano la chiocciola, per la percezione dei suoni, e l'apparato vestibolare, per la percezione dell'equilibrio) e in una miriade di terminazioni nervose presenti nella pelle, nelle papille gustative e nella mucosa nasale. Le terminazioni nervose inviano segnali a determinati e ben circoscritti punti di accesso del cervello, le cosiddette cortecce sensitive di ordine inferiore della visione, dell'udito, delle sensazioni tattili, del gusto e dell'olfatto, assimilabili a una sorta di porto sicuro per i segnali. Ognuna di tali regioni è una collezione di svariate aree e in ognuna di tali regioni si ha un fitto incrociarsi di segnali tra le aree (fig. 5.1). Dirò più avanti in questo stesso capitolo che a mio giudizio questi settori interconnessi sono la base delle rappresentazioni organizzate topograficamente, la sorgente delle immagini mentali.

A sua volta, l'organismo agisce sull'ambiente at-

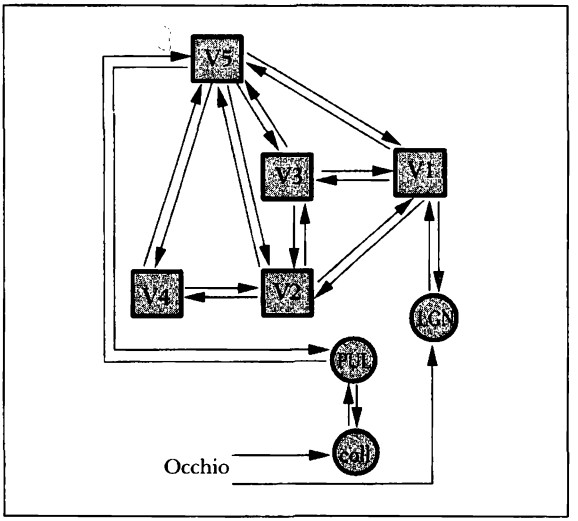

Fig. 5.1 Schema semplificato di alcune interconnessioni tra le « cortecce visive di ordine inferiore » (V1, V2, V3, V4, V5) e le tre strutture subcorticali visivamente correlate: il nucleo genicolato laterale (LGN), il pulvinare (PUL) e il collicolo superiore (coll). V1 è nota anche come corteccia visiva « primaria » e corrisponde all'area 17 di Brodmann. Si osservi che la maggior parte dei componenti di questo sistema è interconnessa da proiezioni neuroniche in avanti e all'indietro (indicate dalle frecce). L'input visivo perviene al sistema dall'occhio attraverso il nucleo genicolato laterale e il collicolo. Le uscite dal sistema provengono da molti componenti, in parallelo (ad esempio da V4, V5, ecc.), e sono dirette verso bersagli corticali e subcorticali.

traverso movimenti dell'intero corpo, degli arti e dell'apparato vocale, che sono controllati dalle cortecce M1, M2 e M3 (quelle dalle quali scaturiscono anche i movimenti diretti al corpo), con l'aiuto di diversi nuclei motori subcorticali. Vi sono, quindi, settori del cervello ai quali arrivano in continuazione segnali provenienti dal corpo o dagli organi di senso del corpo. Tali settori « di ingresso » sono anatomicamente separati e non comunicano l'uno

con l'altro in modo diretto. Vi sono anche settori del cervello dai quali scaturiscono i segnali chimici e motori: tra questi settori « di uscita » si annoverano il midollo allungato, i nuclei dell'ipotalamo e le cortecce motorie.

Digressione sull'architettura dei sistemi neurali

Supponete di star progettando il cervello umano partendo da zero, e di avere già indicato – a matita – tutti i porti ai quali occorre convogliare i molti segnali sensoriali; non vi verrebbe voglia di fondere assieme i segnali provenienti da differenti fonti di sensazioni (vista e udito, ad esempio) con la massima rapidità possibile, in modo che il cervello potesse generare « rappresentazioni integrate » di cose viste e udite simultaneamente? Non vorreste connettere tali rappresentazioni ai controlli motori, in modo che il cervello potesse rispondere con efficacia? La vostra risposta sarà un bel sì squillante; ma non è stata questa la risposta della natura. Un paio di decenni fa, un fondamentale studio delle connessioni neuroniche, ad opera di E.G. Jones e T.P.S. Powell, ha mostrato che la natura non consente che i porti delle sensazioni dialoghino direttamente tra loro, e nemmeno che essi parlino direttamente ai controlli motori.[1] Ad esempio, al livello della corteccia cerebrale, ogni collezione di aree sensitive di ordine inferiore deve prima parlare a una varietà di regioni interposte, le quali parlano ad altre regioni più distanti, e così via. Il messaggio è trasportato da assoni che si proiettano in avanti (proiezioni *feedforward*), i quali convergono in regioni poste più a valle, e queste a loro volta convergono in altre regioni.

Può sembrare che questa molteplicità di flussi paralleli e convergenti vada a finire in alcuni vertici, come la corteccia più vicina all'ippocampo (corteccia entorinale) o alcuni settori della corteccia prefrontale (quello dorsolaterale o quello ventromediano); ma ciò è impreciso. Per un verso, i flussi paralleli non « terminano » mai, in quanto tali, poiché dai dintorni di ogni punto nel quale essi si proiettano in avanti si diparte una corrispondente proiezione all'indietro, e quindi è corretto affermare che i segnali del flusso muovono sia in avanti sia all'indietro. Anziché un flusso che si muove in avanti si trovano anelli di proiezioni in avanti e di proiezioni retroagenti, che possono dar luogo a un ricorso perpetuo.

Vi è un'altra ragione per la quale i flussi non « terminano » nel vero senso della parola: le proiezioni dirette verso i controlli motori, che si trovano fuori di alcune delle loro stazioni, soprattutto di quelle site in avanti.

Così la comunicazione tra settori d'ingresso e quella tra settori d'ingresso e settori d'uscita non è diretta bensì mediata, e fa impiego di una complessa architettura di raggruppamenti di neuroni interconnessi. Al livello della corteccia cerebrale, questi raggruppamenti sono regioni corticali poste entro varie cortecce di associazione. Ma si ha comunicazione mediata anche attraverso grandi nuclei subcorticali, come quelli del talamo e dei gangli basali, o piccoli nuclei, come quelli del midollo allungato.

In breve, assai grande è il numero di strutture cerebrali che si trovano tra i settori di ingresso e di uscita, e immensa la complessità dei loro schemi di connessione. È naturale chiedersi che cosa accada in tutte queste strutture « interposte », e a che cosa ci serva tanta complessità. La risposta è che quell'attività, in-

sieme con l'attività delle aree di ingresso e di uscita, costruisce di momento in momento ed elabora furtivamente le nostre immagini mentali. Sulla base di queste (ma ne dirò di più nelle pagine che seguono) ci è possibile interpretare i segnali portati alle cortecce sensitive di ordine inferiore in modo che noi possiamo organizzarli in concetti e categorizzarli. Possiamo così acquisire strategie per il ragionamento e per la decisione; possiamo, inoltre, selezionare una risposta motoria dal menù disponibile nel cervello, oppure formulare una risposta motoria nuova, una deliberata, volontaria composizione di atti: picchiare sul tavolo, tenere in braccio un bambino, suonare un pezzo di Mozart al piano.

Tra i cinque principali settori d'ingresso sensoriale e i tre principali settori d'uscita del cervello si trovano le cortecce di associazione, i gangli basali, il talamo, le cortecce del sistema limbico e i nuclei del limbo, il midollo allungato e il cervelletto. Nell'insieme, questo «organo» di informazione e di governo, questa ampia collezione di sistemi, detiene sia la conoscenza innata sia quella acquisita riguardo al corpo, al mondo esterno, e allo stesso cervello nella sua interazione con il corpo e con il mondo esterno. Tale conoscenza viene impiegata per dispiegare e manipolare uscite motorie e uscite mentali, le immagini che costituiscono i nostri pensieri. Io ritengo che questo repertorio di fatti e di strategie per manipolarli sia immagazzinato – in sospeso e a riposo – sotto forma di «rappresentazioni disposizionali» (o «disposizioni», in breve) nei settori cerebrali interposti. La regolazione biologica, il ricordo degli stati precedenti e la pianificazione degli atti futuri sono il risultato di un'attività cooperativa non solo nelle cortecce di ordine inferiore, sensitive e motorie, ma anche nei settori cerebrali interposti.

È opinione diffusa, tra quanti amano pensare a come lavora il cervello, che le molte fila dell'elaborazione delle sensazioni di cui la mente fa esperienza (suoni e visioni, sapore e aroma, forma e aspetto superficiale) rientrino tutte in un'unica struttura cerebrale: sarebbe un po' come ritenere che ciò che sta assieme nella mente stia assieme, in un unico luogo, anche nel cervello, e che lì si fondano i differenti aspetti sensoriali. Questa metafora, piuttosto comune, richiama l'idea di un grande schermo per cinemascope, attrezzato per una rutilante proiezione in technicolor con sonoro in stereofonia, e magari anche una pista per gli odori e i profumi. Daniel Dennett, che se ne è occupato ampiamente, ha chiamato questa concezione «teatro cartesiano» e ha mostrato in modo convincente, sulla base di considerazioni cognitive, che tale teatro non può esistere.[2] Anch'io per parte mia, basandomi su considerazioni di neuroscienze, sostengo che si tratta di un'intuizione falsa.

Riassumo qui le mie ragioni, che ho discusso e trattato più ampiamente in altra sede.[3] L'argomentazione principale contro l'idea di un sito di integrazione nel cervello è questa: non esiste, nel cervello umano, un'unica regione attrezzata per elaborare simultaneamente le rappresentazioni provenienti da tutte le modalità sensoriali che sono attive quando noi, per esempio, facciamo esperienza simultanea di suono, movimento, forma e colore, in perfetta coincidenza temporale e spaziale.

È appena agli inizi la raccolta di dati e informazioni su dove è probabile che avvenga la costruzione di immagini relative a ogni singola modalità sensoriale separata, ma non vi è luogo nel quale sia possibile trovare un'area unica in cui siano proiettati in coincidenza precisa tutti quei prodotti distinti.

Esistono, è vero, alcune regioni del cervello nelle

quali possono convergere i segnali provenienti da molte differenti aree sensitive di ordine inferiore: alcune di queste regioni di convergenza in effetti ricevono un'ampia varietà di segnali polimodali – ad esempio le cortecce entorinali e peririnali. Ma il tipo di integrazione che esse possono produrre usando questi segnali non sembra essere quello che forma la base della mente integrata. Basti dire che una lesione a queste regioni di convergenza di ordine superiore, anche quando si verifichi in entrambi gli emisferi, non preclude affatto l'integrazione della « mente », anche se provoca altre conseguenze neuropsicologiche rilevabili, quali ad esempio menomazioni dell'apprendimento.

Forse è più fruttuoso pensare che il nostro forte senso di integrazione della mente sia creato dall'azione concertata di sistemi a larga scala mediante la sincronizzazione di insiemi di attività neurali in regioni cerebrali separate – è una questione di tempismo. Se l'attività avviene in regioni cerebrali anatomicamente separate, ma approssimativamente entro la medesima finestra temporale, è ancora possibile collegare le parti che stanno dietro la scena, per così dire, e creare l'impressione che tutto accada nello stesso luogo. Si noti che ciò non spiega in alcun modo come il tempo operi il collegamento, ma piuttosto suggerisce che la temporizzazione è una parte importante del meccanismo. L'idea di una integrazione tramite il tempo è emersa nel decennio scorso e oggi appare con molto rilievo nei lavori di un certo numero di scienziati teorici.[4]

Se davvero il cervello per mezzo del tempo integra processi separati in combinazioni dotate di significato, si ha una soluzione sensata e semplice, ma non esente da rischi e difficoltà. Il rischio principale è quello di un errore di temporizzazione. Qualsiasi difetto nel funzionamento del meccanismo di temporizzazione creerebbe, probabilmente, un'integrazione impropria, o addirittura *dis*integrazione. Forse è

quello che accade negli stati di confusione causati da lesioni alla testa, o in alcuni sintomi di schizofrenia e di altre malattie. Il problema fondamentale creato dal collegamento temporale riguarda l'esigenza di mantenere a fuoco l'attività di siti diversi per tutto il tempo che occorre affinché si formino combinazioni dotate di significato e affinché ragionamento e decisione abbiano luogo. Il collegamento temporale richiede meccanismi efficaci e potenti di attenzione e di memoria operativa; sembra che la natura abbia acconsentito a fornirli.

Ogni sistema sensoriale sembra equipaggiato in modo da offrire i propri dispositivi locali di attenzione e di memoria operativa. Ma quando si passa ai corrispondenti processi globali, gli studi su esseri umani e gli esperimenti su animali suggeriscono che sono essenziali le cortecce prefrontali e alcune strutture del sistema limbico (il cingolato anteriore).[5] Adesso possono essere più chiare le misteriose connessioni tra i processi e i sistemi cerebrali di cui si è detto all'inizio di questo capitolo.

Immagini di adesso, immagini del passato e immagini del futuro

La conoscenza fattuale che si richiede per ragionare e per decidere viene alla mente sotto forma di immagini. Diamo uno sguardo, pur se rapido, al possibile substrato neurale di queste.

Se osservate, fuori della finestra, il paesaggio autunnale, o ascoltate una musica che fa da sottofondo, o fate scorrere i polpastrelli su una superficie metallica liscia, o leggete queste parole riga per riga fino al fondo della pagina, voi state percependo, e quindi formando immagini di svariate modalità sensoriali: si chiamano *immagini percettive.*

Ma può darsi che voi vi interrompiate, mentre seguite quel paesaggio, quella musica, quella super-

ficie, quel testo; può darsi che vi distraiate per rivolgere il pensiero altrove. Forse adesso pensate alla zia Margherita, o alla torre Eiffel, o alla voce di Placido Domingo, o a quello che ho appena detto riguardo alle immagini. Ognuno dei vostri nuovi pensieri è ancora costituito da immagini, a prescindere dalla circostanza che siano fatte per lo più di forme, di colori, di movimenti, di suoni, di parole – dette o non dette. Tali immagini, che si presentano quando voi rievocate il ricordo di cose passate, vanno sotto il nome di *immagini richiamate*, per distinguerle da quelle percettive.

Impiegando le immagini richiamate è possibile fare ritornare un tipo particolare di immagine del passato, che si è formata quando avete pianificato qualcosa che non è ancora accaduto ma che volete che accada: per esempio, rimettere a posto la biblioteca, il prossimo fine settimana. Via via che il processo di pianificazione si dispiegava, voi andavate formando immagini di oggetti e movimenti, e consolidando nella mente un ricordo di quella finzione. Le immagini di qualcosa che non è ancora accaduto – e in effetti potrebbe non accadere mai – non hanno natura differente da quelle di qualcosa che già è avvenuto. Esse costituiscono il ricordo di un futuro possibile anziché di un passato che fu.

Tutte queste varie immagini – percettive, richiamate da un reale passato, richiamate da programmi per il futuro – sono costruzioni del cervello. E di questo si può esser certi: che esse sono reali per il vostro sé, e che gli altri esseri formano immagini confrontabili. Ognuno di noi condivide il proprio concetto del mondo, basato su immagini, con gli altri esseri umani e anche con alcuni animali: vi è una notevole coerenza nelle costruzioni che individui diversi elaborano degli aspetti essenziali dell'ambiente (strutture, suoni, forme, colori, spazio). Se i nostri organismi fossero disegnati in modi differenti, altrettanto differenti sarebbero le costruzioni che

elaboriamo del mondo circostante. Non sappiamo, ed è improbabile che un giorno riusciremo a sapere, quale sia la realtà « assoluta ».

Com'è che arriviamo a creare queste mirabili costruzioni? A quanto sembra, esse sono architettate da un complesso macchinario neurale di percezione, memoria e ragionamento. A volte il ritmo della costruzione è regolato dal mondo esterno al cervello, cioè dal mondo interno al corpo o attorno al corpo, con un piccolo aiuto da parte della memoria del passato: è quello che avviene quando generiamo immagini percettive. A volte la costruzione è diretta completamente dall'interno del cervello, mediante i dolci e silenziosi processi del pensiero, procedendo – per dir così – dall'alto verso il basso: è quello che avviene, ad esempio, quando richiamiamo una melodia che ci è cara, o quando rievochiamo a occhi chiusi e coperti certe scene visive (che siano la ripetizione di un evento reale o soltanto immaginato).

Ma l'attività neurale più strettamente correlata con le immagini di cui facciamo esperienza si svolge nelle cortecce sensitive di ordine inferiore e non nelle altre regioni. L'attività di tali cortecce – innescata da percezioni o dalla rievocazione di ricordi – è per così dire il risultato di elaborazioni complesse che si svolgono dietro la scena, in numerose regioni della corteccia cerebrale e dei nuclei di neuroni al di sotto della corteccia, nei gangli basali, nel midollo allungato e altrove. In breve: *le immagini sono basate direttamente su quelle – e solo su quelle – rappresentazioni neurali che sono organizzate topograficamente e che avvengono nelle cortecce sensitive di ordine inferiore.* Ma esse vengono formate o sotto il controllo di recettori sensoriali orientati verso l'esterno del cervello (ad esempio la rètina), o sotto il controllo di rappresentazioni disposizionali (disposizioni) contenute entro il cervello, nelle regioni corticali e nei nuclei subcorticali.

Come si formano le immagini, quando si percepisce qualcosa del mondo (ad esempio un paesaggio) o del corpo (ad esempio un dolore al gomito destro)? Nell'uno e nell'altro caso, vi è un primo passo necessario ma non sufficiente: segnali provenienti dall'opportuno settore del corpo (l'occhio e la rètina, nel primo caso; i terminali nervosi dell'articolazione del gomito, nel secondo caso) vengono convogliati da neuroni, lungo i loro assoni e attraverso varie sinapsi elettrochimiche, fin dentro il cervello. I segnali vengono trasmessi alle cortecce sensitive di ordine inferiore.* Per i segnali provenienti dalla rètina, questo avverrà nelle cortecce di ordine inferiore visive, che si trovano nella zona posteriore del cervello, nel lobo occipitale. Per i segnali provenienti dall'articolazione del gomito, toccherà alle cortecce somatosensitive delle regioni parietale e insulare, parte del settore cerebrale leso nell'anosognosia. Si osservi ancora che si tratta non di un centro quanto di una *collezione* di aree; le singole aree che ne fanno parte sono già di per sé complesse; ancora di più lo è la maglia di interconnessioni che esse formano. Le rappresentazioni topograficamente organizzate sono il risultato dell'interazione concertata di queste aree, e

* Si comincia ora a comprendere come opera il meccanismo della percezione entro tali cortecce di ordine inferiore. All'avanguardia sono gli studi del sistema visivo, per il quale è stata raccolta una larga messe di dati di tipo neuroanatomico, neurofisiologico e psicofisico; ma anche per il sistema uditivo e per quello somatosensitivo si ha ormai una certa abbondanza di scoperte nuove. Queste cortecce formano una coalizione dinamica, e le rappresentazioni topograficamente organizzate che esse generano cambiano a seconda del tipo e dell'entità del segnale entrante (come è stato dimostrato dal lavoro di molti ricercatori).[6]

non di una sola di esse. Non vi è alcunché di frenologico, in questa idea.

Quando è distrutto l'insieme o la grande maggioranza delle cortecce sensitive di ordine inferiore relative a una data modalità, svanisce la capacità di formare immagini in tale modalità: i pazienti privati delle cortecce visive di ordine inferiore non sono in grado di vedere granché. (Un residuo di capacità sensoriale rimane, probabilmente perché sono intatte le strutture corticali e subcorticali connesse. Anche dopo una estesa distruzione delle cortecce visive di ordine inferiore, alcuni pazienti riescono a puntare lo sguardo verso bersagli luminosi che dichiarano di non vedere: posseggono quella che è nota come *vista cieca*. Le cortecce parietali, i collicoli superiori e il talamo sono alcune delle strutture presumibilmente implicate in questi processi).

Il deficit percettivo può essere decisamente specifico: ad esempio, dopo una lesione a uno dei sottosistemi contenuti entro le cortecce visive di ordine inferiore, può manifestarsi perdita della capacità di percepire i colori, e tale perdita può essere totale oppure soltanto una attenuazione, tale che i pazienti vedono i colori come dilavati: vedono la forma, il movimento, la profondità, ma non il colore, e in tale condizione (che si definisce acromatopsia) si costruiscono un universo in grigio – nelle varie tonalità e sfumature di grigio.

Perché le immagini si manifestino nella coscienza, sono necessarie le cortecce sensitive di ordine inferiore e le rappresentazioni topograficamente organizzate che tali cortecce formano; ma non sembra che esse siano sufficienti. In altre parole, se il nostro cervello si limitasse a generare buone rappresentazioni topograficamente organizzate, senza farsene altro,

dubito che ne avremmo coscienza come immagini. E infatti, in qual modo sapremmo che sono *nostre* immagini? Da tale disegno mancherebbe la soggettività, che è una caratteristica chiave della coscienza. Altre condizioni devono essere soddisfatte, quindi.

Quelle rappresentazioni neurali devono essere correlate con le altre che, momento per momento, costituiscono la base neurale del sé. È un tema che si ripresenterà nei capitoli 7 e 10: qui voglio osservare che il sé non è il famigerato omuncolo, l'esserino racchiuso entro il nostro cervello che percepisce ed elabora pensieri sulle immagini formate dal cervello; è, piuttosto, uno stato neurobiologico continuamente ricreato. Anni di giustificati attacchi alla teoria dell'omuncolo hanno reso molti teorici altrettanto timorosi verso il concetto di sé; ma non vi è alcun bisogno che il sé neurale sia omuncolare. Quel che dovrebbe turbare, in realtà, è l'idea di una cognizione priva del sé.

Immagazzinamento di immagini e formazione di immagini per richiamo

Le immagini non sono immagazzinate come copie in facsimile di oggetti, o eventi, o parole, o frasi; il cervello non incasella foto polaroid di persone, cose, paesaggi; non archivia nastri registrati di musiche e discorsi, né filmati di episodi della nostra vita; non serba al proprio interno fogli promemoria e lucidi come quelli che son soliti usare i politici. In breve, sembra proprio che non vi siano immagini depositate in permanenza di alcunché, neppure miniaturizzate: né microfiche né microfilm né copie stampate. Nel corso della propria esistenza, ciascuno di noi acquisisce una marea di conoscenze, cosicché qualsiasi tipo di archiviazione porrebbe insor-

montabili problemi di capacità: se il cervello fosse assimilabile a una biblioteca, come una biblioteca presto verrebbe a trovarsi in difetto di scaffali. Inoltre, l'archiviazione di copie presenta di solito non facili problemi di efficienza dell'accesso, quando occorre ritrovarle. Per esperienza diretta tutti sappiamo che quando vogliamo richiamare un dato oggetto, o volto, o scena, non otteniamo la riproduzione identica, ma piuttosto un'interpretazione, una versione ricostruita di fresco dell'originale. Inoltre, le versioni del medesimo originale si modificano con il passare degli anni e il mutare dell'esperienza, e nessuna è compatibile con una rigida rappresentazione in copia: è un'osservazione che lo psicologo inglese Frederic Bartlett fece già qualche decennio addietro, quando fu il primo a sostenere che la memoria è essenzialmente ricostruttiva.[7]

E però negare che nel cervello possano esistere figure permanenti di alcunché contrasta con la sensazione, comune a tutti, che in effetti noi possiamo evocare, nell'occhio – o nell'orecchio – della mente, approssimazioni di immagini delle quali abbiamo fatto esperienza. Né ciò è contraddetto dalla circostanza che tali approssimazioni non sono precise, o sono meno vivide delle immagini che intendono riprodurre.

Si può pensare di dare risposta a questo problema osservando che le immagini mentali sono costruzioni momentanee, *tentativi di riprodurre* configurazioni di cui si è fatta esperienza, tali che la probabilità di una riproduzione precisa è bassa, ma quella di una riproduzione sostanziale può essere più o meno alta, a seconda delle circostanze in cui esse furono apprese e vengono richiamate. La permanenza di queste immagini evocate nella coscienza è in genere transitoria; spesso, poi, sono imprecise o incomplete, anche se possono sembrare buone copie. Io credo che le immagini evocate esplicite scaturiscano dalla attivazione sincrona, passeggera, di

schemi di eccitazione neurale per lo più nelle medesime cortecce sensitive di ordine inferiore nelle quali si sono manifestati in precedenza gli schemi di eccitazione neurale corrispondenti a rappresentazioni percettive. L'attivazione dà come risultato una rappresentazione topograficamente organizzata.

A favore di questa ipotesi depongono svariate considerazioni, e qualche prova. Nella condizione (già vista) nota come acromatopsia, un danno localizzato nelle cortecce visive di ordine inferiore provoca la perdita non solo della percezione, ma anche della raffigurazione mentale del colore: chi ne è colpito non è più in grado di *immaginarsi* il colore nella mente, e se gli si chiede di pensare a una banana, tale paziente sarà bensì in grado di raffigurarne la forma, ma non il colore, e la vedrà in varie sfumature di grigio. Se la « conoscenza del colore » fosse depositata in un sistema diverso e separato da quello su cui poggia la « percezione del colore », i pazienti affetti da acromatopsia potrebbero immaginare il colore anche se non possono percepirlo in un oggetto esterno; ma non è così.

I pazienti colpiti da estese lesioni alle cortecce visive di ordine inferiore perdono la capacità di generare raffigurazioni visive; tuttavia essi sono ancora capaci di richiamare conoscenze riguardanti le proprietà spaziali e tattili degli oggetti, e anche di evocare immagini sonore.

Quest'idea è confortata da alcuni studi preliminari sull'evocazione visiva condotti facendo impiego della topografia a emissione di positroni (PET) e della risonanza magnetica funzionale (RMF). Steven Kosslyn e il suo gruppo, e così Hanna Damasio e Thomas Grabowski con il loro, hanno trovato che l'evocare immagini visive attiva le cortecce visive di ordine inferiore, insieme ad altre aree.[8]

In qual modo si formano le rappresentazioni topograficamente organizzate necessarie per fare

esperienza di immagini evocate? Io credo che esse vengano costruite sul momento, per impulso di schemi neurali *disposizionali* acquisiti che si trovano in altri punti del cervello. Uso il termine « disposizionali » poiché ciò che essi fanno, alla lettera, è ordinare altri schemi neurali intorno, suscitare attività neurale altrove, in circuiti che fanno parte dello stesso sistema e con i quali vi è una forte interconnessione neuronica. Le rappresentazioni disposizionali esistono come schemi potenziali di attività neuronica in piccoli insiemi di neuroni che io chiamo « zone di convergenza »; consistono, cioè, di un insieme di disposizioni che eccitano neuroni entro l'insieme. Le disposizioni correlate con le immagini evocabili sono state acquisite attraverso l'apprendimento, e perciò si può dire che esse costituiscono una memoria. Le zone di convergenza le cui rappresentazioni disposizionali possono produrre immagini quando eccitano le cortecce sensitive di ordine inferiore sono poste lungo le cortecce di associazione di ordine superiore (nelle regioni occipitali, temporali, parietali e frontali), nonché nei gangli basali e nelle strutture limbiche.

Quel che le rappresentazioni disposizionali tengono immagazzinato nella loro minuscola comune di sinapsi non è « una figura », di per sé, ma un mezzo per ricostituire una figura. Il fatto di avere una rappresentazione disposizionale del volto di zia Margherita non significa che la rappresentazione contenga quel volto, ma piuttosto gli schemi di scarica che innescano la ricostruzione istantanea di una rappresentazione approssimativa proprio del volto di zia Margherita nelle cortecce visive di ordine inferiore.

Le svariate rappresentazioni disposizionali che dovrebbero, più o meno in sincronia, mettersi in eccitazione perché il volto di zia Margherita compaia negli spazi della mente sono localizzate in diverse cortecce di associazione visive e di ordine superiore

(per lo più, ritengo, nelle regioni temporale e occipitale).[9] Lo stesso dovrebbe valere per il dominio uditivo. Vi sono rappresentazioni disposizionali per la voce di zia Margherita, nelle cortecce di associazione uditive, che possono scaricare all'indietro verso le cortecce uditive di ordine inferiore e generare sul momento la rappresentazione approssimativa di quella voce.

Non vi è un'unica formula nascosta, per questa ricostruzione: zia Margherita come persona completa non esiste in un unico, singolo sito cerebrale, ma è distribuita in tutto il cervello, sotto forma di numerose rappresentazioni disposizionali, per questo o quell'aspetto. E quando voi evocate ricordi di cose relative a zia Margherita, e lei affiora in varie cortecce di ordine inferiore (visive, uditive, ecc.), in rappresentazione topografica, ancora è presente solo in vedute separate durante la finestra temporale nella quale ricostruite *qualche* significato della persona di lei.

Supponiamo che tra cinquant'anni un esperimento immaginario vi consentisse di piombare dentro le rappresentazioni *disposizionali visive* che qualcuno ha di zia Margherita; sono convinto che non vedreste alcunché che somigliasse al volto di zia Margherita, perché le rappresentazioni disposizionali *non* sono topograficamente organizzate. Ma se provaste a ispezionare gli schemi di attività presenti nelle cortecce visive di ordine inferiore di quel qualcuno entro un decimo di secondo dall'istante in cui le zone di convergenza per il volto di zia Margherita hanno scaricato all'indietro, allora sì, probabilmente, riuscireste a vedere schemi di attività che hanno qualche relazione con la geografia di quel volto. Vi sarebbe *coerenza* tra ciò che voi sapete del suo volto e lo schema di attività che trovereste nei circuiti delle cortecce visive di ordine inferiore di qualcuno che pure la conosceva e che stava pensando a lei.

Già qualche risultato sperimentale suggerisce che le cose stiano così. Facendo impiego di un metodo di visualizzazione neuroanatomica, R.B.H. Tootell ha mostrato che quando una scimmia vede determinate forme (una croce, un quadrato) l'attività dei neuroni delle cortecce visive di ordine inferiore è topograficamente organizzata secondo uno schema che corrisponde alle forme che la scimmia sta vedendo.[10] In altre parole, un osservatore indipendente che guardasse allo stimolo esterno e allo schema dell'attività cerebrale riconoscerebbe una somiglianza strutturale (fig. 5.2). Analoghe considerazioni si possono fare per le scoperte di Michael Merzenich riguardo agli schemi dinamici di rappresentazione del corpo nelle cortecce somatosensitive.[11] Si osservi, tuttavia, che l'avere una tale rappresentazione nella corteccia cerebrale *non* equivale a esserne consci (come ho già detto in precedenza): ne è condizione necessaria, ma non sufficiente.

Quella che io chiamo rappresentazione disposizionale è una potenzialità latente di eccitazione che viene destata quando i neuroni scaricano secondo un particolare andamento, a certi ritmi, per un certo arco di tempo e su un particolare bersaglio – che si dà il caso sia un altro insieme di neuroni. Nessuno sa a che cosa potrebbero somigliare i «codici» contenuti in tale insieme; non sono valse a chiarirlo le numerose scoperte che si sono ormai accumulate nello studio delle modificazioni sinaptiche. Sembra, però, che si possa dire questo: gli schemi di scarica sono prodotti dal rafforzamento o dall'indebolimento delle sinapsi, che a loro volta sono il risultato di cambiamenti funzionali che avvengono a livello microscopico entro le ramificazioni dei neuroni (assoni e dendriti).[12]

Come la città di Brigadoon, le rappresentazioni disposizionali esistono allo stato potenziale, soggette all'attivazione.

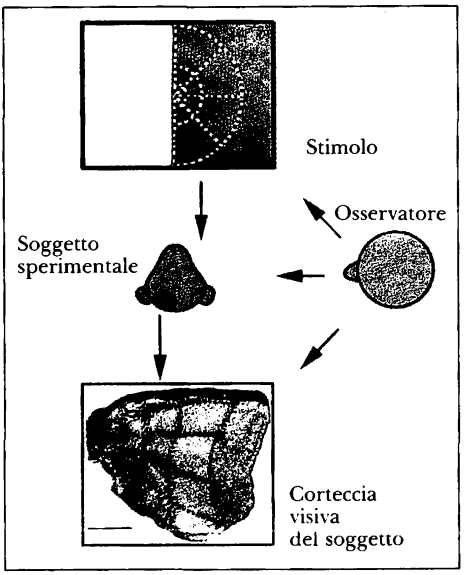

Fig. 5.2 Un osservatore che considerasse lo stimolo presentato a un animale, durante un esperimento, e quindi l'attivazione provocata da tale stimolo nella corteccia visiva dell'animale, riscontrerebbe una notevole coerenza tra la forma dello stimolo e la forma dello schema di attività neurale in uno degli strati della corteccia visiva primaria (strato 4C). Stimolo e immagine cerebrale provengono dalla ricerca di Roger Tootell, che ha compiuto questo esperimento.

La conoscenza è incorporata nelle rappresentazioni disposizionali

Le rappresentazioni disposizionali costituiscono l'intero nostro deposito di conoscenza, sia innata sia acquisita tramite l'esperienza. La prima si basa su rappresentazioni disposizionali localizzate nell'ipotalamo, nel midollo allungato e nel sistema limbico; la si può concepire come l'insieme di comandi per la regolazione biologica che sono necessari alla soprav-

vivenza (ad esempio il controllo del metabolismo, le pulsioni, gli istinti). Essi controllano numerosi processi, ma per larga parte non divengono immagini mentali. (Di questo si parlerà nel capitolo seguente).

La conoscenza acquisita si basa su rappresentazioni disposizionali presenti nelle cortecce di ordine superiore o sparse in molti nuclei di sostanza grigia, sotto il livello della corteccia. Alcune contengono registrazioni di quella conoscenza traducibile in immagini che possiamo richiamare e che viene impiegata per il movimento, il ragionamento, la pianificazione, le attività creative; altre contengono registrazioni di regole e strategie mediante le quali operiamo su quelle immagini. Si acquisisce nuova conoscenza attraverso la continua modificazione di tali rappresentazioni disposizionali.

L'attivazione delle rappresentazioni disposizionali può dare svariati risultati. Esse possono attivarne altre con le quali le mette in relazione la configurazione circuitale: ad esempio, quelle della corteccia temporale potrebbero attivare le rappresentazioni della corteccia occipitale che sono parte dei medesimi sistemi *rinforzati*. Oppure esse possono generare una rappresentazione topograficamente organizzata scaricando direttamente all'indietro sulle cortecce sensitive di ordine inferiore, o attivando altre rappresentazioni disposizionali nello stesso sistema *rinforzato*. Oppure ancora, possono generare un movimento attivando una corteccia motoria o un nucleo – ad esempio i gangli basali.

La comparsa di un'immagine per richiamo è il risultato della ricostruzione di uno schema transitorio (metaforicamente, una mappa) nelle cortecce sensitive di ordine inferiore; ciò che innesca la ricostruzione è l'attivazione delle rappresentazioni disposizionali in altri punti del cervello, ad esempio nella corteccia di associazione. Lo stesso tipo di attivazione su mappe avviene nelle cortecce motorie, ed è la base del movimento. Le rappresentazioni di-

sposizionali sulla base delle quali avviene il movimento sono localizzate nelle cortecce premotorie, nei gangli basali e nelle cortecce limbiche. Vi sono elementi che indicano come esse attivino sia i movimenti sia le immagini interne di movimenti del corpo; queste ultime, per la natura veloce dei movimenti, sono spesso mascherate, nella coscienza, dalla nostra consapevolezza del movimento stesso.

Il pensiero è fatto in larga misura di immagini

Si afferma sovente che il pensiero è fatto di immagini e di molto altro, che è fatto anche di parole e di simboli astratti non figurativi. Certo, nessuno può negare che il pensiero comprenda anche parole e simboli arbitrari; ma a quella affermazione sfugge che sia parole sia simboli arbitrari sono basati su rappresentazioni topograficamente organizzate e possono diventare immagini. In massima parte, le parole che usiamo nel nostro discorso interno, prima di pronunciare o di scrivere una frase, esistono nella nostra coscienza come immagini visive o uditive; se non divenissero (per quanto fugacemente) immagini, non sarebbero alcunché di conoscibile.[13] Questo è vero anche per quelle rappresentazioni topograficamente organizzate che non vengono seguite alla chiara luce della coscienza, ma che sono attivate in modo celato. Dagli esperimenti di *priming* si sa che, anche se queste rappresentazioni sono elaborate nascostamente, esse possono influenzare il corso dei processi di pensiero e perfino affacciarsi alla coscienza, un po' più tardi. (Il *priming* consiste nell'attivare una rappresentazione in modo incompleto, oppure nell'attivarla senza poi seguirla).

Dopo una conversazione animata cui hanno partecipato più persone, capita che una parola o una frase che non avevamo sentito ci affiori d'improvviso nella mente; sorpresi per non averla colta (come

è potuto accadere?) arriviamo perfino a voler fare un controllo: « Davvero lei ha detto così-e-così? ». Risulta che la persona X davvero ha detto così-e-così, ma noi eravamo concentrati sulla persona Y, e così le rappresentazioni su mappa formate con riferimento a quel che X diceva non sono state seguite, e di esse si è prodotto solo un ricordo disposizionale. Ma se la parola o la frase sfuggiteci per noi erano importanti, non appena la concentrazione su Y si allenta la rappresentazione disposizionale ha prodotto di nuovo una rappresentazione topograficamente organizzata in una corteccia sensitiva di ordine inferiore e, dal momento che ne eravamo consapevoli, essa è divenuta un'immagine. Si osservi, a proposito, che non avremmo mai formato una rappresentazione disposizionale senza prima formare una rappresentazione percettiva topograficamente proiettata: sembra che non vi sia possibilità anatomica di avere informazioni sensoriali complesse nella corteccia di associazione che fa da base alle rappresentazioni disposizionali senza che prima si formino nelle cortecce sensitive di ordine inferiore. (Questo può non essere vero per l'informazione sensoriale non complessa).

I commenti appena fatti si applicano altrettanto bene ai simboli che si usano nella soluzione mentale di un problema matematico (anche se, forse, non a tutte le forme di pensiero matematico). Se quei simboli non fossero esprimibili in immagini, noi non li conosceremmo, e non saremmo capaci di manipolarli in modo cosciente. È interessante osservare che alcuni matematici e fisici particolarmente dotati di intuito dichiarano come il loro pensiero sia dominato dalle immagini, che spesso sono visive, ma possono anche essere somatosensoriali. Non fa sorpresa che Benoit Mandelbrot, che ha legato il proprio nome alla geometria frattale, dichiari che egli pensa sempre per immagini.[14] Egli riferisce che il fisico Richard Feynman non amava esaminare un'equa-

zione senza poter guardare l'illustrazione che l'accompagnava (e si noti che, in effetti, sia l'equazione sia l'illustrazione erano immagini). Quanto a Einstein, egli non aveva alcun dubbio:

« Sembra che le parole o il linguaggio, così come sono scritti o detti, non abbiano alcun ruolo nei miei meccanismi di pensiero. Le entità psichiche che sembrano fungere da elementi, nel pensiero, sono certi segni e certe immagini – più o meno chiare – che possono essere "volontariamente" riprodotti e combinati. Naturalmente c'è un legame tra quegli elementi e i concetti logici pertinenti. È chiaro anche che il desiderio di arrivare a concetti logicamente connessi è la base emotiva di questo gioco un po' vago con gli elementi prima citati ».

Poco più avanti egli si esprime con ancor maggiore chiarezza:

« Gli elementi prima invocati sono, nel mio caso, di tipo visivo e ... muscolare. La laboriosa ricerca di parole convenzionali o di altri segni deve avvenire solo in uno stadio successivo, quando il gioco di associazione cui facevo accenno è sufficientemente stabilito e può essere riprodotto a volontà ».[15]

Quindi il punto è che le immagini sono, probabilmente, il contenuto principale dei nostri pensieri, a prescindere dalla modalità sensoriale nella quale esse sono generate e dal fatto che riguardino una cosa o un processo implicante cose, o che riguardino parole o altri simboli – di un dato linguaggio – che corrispondono a una cosa o ad un processo. Celati dietro quelle immagini, mai o molto di rado conoscibili da parte nostra, vi sono svariati processi che guidano la produzione e il dispiegamento delle immagini nello spazio e nel tempo; essi utilizzano regole e strategie incorporate nelle rappresentazioni disposizionali. Sono *essenziali* per il nostro pensare, ma non sono un *contenuto* dei nostri pensieri.

Le immagini che ricostituiamo nell'evocazione si presentano affiancate alle immagini formate a segui-

to di stimolazione dall'esterno. Quelle ricostruite a partire dall'interno del cervello sono meno vivide di quelle sollecitate dall'esterno: per dirla con David Hume, sono « fievoli », al confronto con le « vivide » immagini generate da stimoli provenienti dall'esterno del cervello. E tuttavia sono immagini.

Alcuni accenni allo sviluppo neurale

Si è già visto come circuiti e sistemi cerebrali, e anche le attività che essi compiono, dipendano dallo schema delle connessioni tra i neuroni e dalla forza delle sinapsi che costituiscono tali connessioni. Ma in qual modo, e quando, vengono stabiliti nel cervello gli schemi di connessione e la forza delle sinapsi? E una volta stabiliti, lo sono per sempre? Queste domande non hanno ancora una risposta definitiva. Tuttavia, anche se quel che si sa al riguardo è in continua evoluzione e quel che si può ritenere acquisito è poco, le cose dovrebbero andare più o meno così:

1) Il genoma umano (cioè il complesso dei geni dei nostri cromosomi) non specifica tutta quanta la struttura del cervello. Non vi sono geni a sufficienza per determinare la struttura e la posizione esatte di ogni elemento del nostro organismo, men che meno del cervello, dove miliardi di neuroni formano i contatti sinaptici. La sproporzione non è piccola: noi abbiamo probabilmente 10^5 (cioè 100000) geni, ma più di 10^{15} (un milione di miliardi) sinapsi nel cervello. Inoltre, la formazione di tessuti, indotta per via genetica, è assistita dalle interazioni tra cellule, in cui hanno una funzione importante le molecole di adesione tra cellule e le molecole di adesione al substrato. Quello che accade tra le cellule durante lo sviluppo controlla in parte, in effetti, l'espressione dei geni che regolano soprattutto lo sviluppo. Per quel che si può dire, allora, molte specifiche

strutturali sono determinate da geni, ma non poche altre possono essere determinate solo dall'attività dell'organismo vivente stesso, mentre si va sviluppando e cambia di continuo, nel corso della propria esistenza.[16]

2) Il genoma contribuisce a stabilire la struttura esatta (o quasi esatta) di un certo numero di circuiti e sistemi importanti nei settori evolutivamente più antichi del cervello umano. Anche se si avverte la mancanza di studi moderni su questi temi, e anche se studi e ricerche potrebbero modificarne il quadro, pure l'affermazione fatta sembra ragionevolmente sicura per il midollo allungato, l'ipotalamo e il prosencefalo basale, e del tutto verosimile per l'amigdala e la regione del cingolato. (Su queste strutture e funzioni saranno dati maggiori particolari nei prossimi capitoli). L'essenziale di questi settori cerebrali è comune agli umani e a molte altre specie. Le strutture di tali settori hanno il compito principale di regolare i processi vitali di base senza ricorso alla mente o alla ragione. Gli schemi innati* di attività dei neuroni di questi circuiti non generano immagini (anche se gli effetti della loro attività possono essere espressi in immagini): essi regolano i meccanismi omeostatici senza i quali non vi è sopravvivenza. Senza i circuiti (fissati in modo innato) di questi settori cerebrali non saremmo capaci di respirare, di regolare il battito cardiaco, di equilibrare il metabolismo, di cercare cibo e riparo, di evitare i predatori, di riprodurci. Senza questa concreta regolazione biologica, la sopravvivenza individuale e

* Si osservi che quando uso la parola « innato » (letteralmente, presente alla nascita) non escludo che ambiente e apprendimento abbiano un ruolo nel determinare una struttura o uno schema di attività – né escludo la possibilità di correzioni operate dall'esperienza. Dico « innato » nel senso in cui William James diceva « pre-disposto », per riferirsi a strutture o schemi che sono in larga misura (ma non esclusivamente) determinati dal genoma, e che sono disponibili al neonato per la regolazione omeostatica.

quella evolutiva si arresterebbero. Ma questi circuiti innati hanno anche un'altra funzione, che voglio qui mettere in rilievo perché di solito viene ignorata, quando si rappresentano le strutture neurali su cui si basano mente e comportamento: *i circuiti innati intervengono non solo nella regolazione corporea, ma anche nello sviluppo e nell'attività adulta delle strutture cerebrali evolutivamente moderne.*

3) L'equivalente delle specifiche che i geni contribuiscono a fissare nei circuiti del midollo allungato o dell'ipotalamo arriva al resto del cervello molto dopo la nascita, via via che l'individuo si sviluppa attraverso infanzia, fanciullezza e adolescenza, o via via che interagisce con l'ambiente fisico e con gli altri individui. Con tutta probabilità, per quanto riguarda i settori cerebrali evolutivamente più moderni, il genoma contribuisce a fissare un quadro generale di sistemi e circuiti, piuttosto che uno dettagliato. Ma quest'ultimo, allora, come si forma? La risposta è: *sotto l'influenza di circostanze ambientali, integrate e vincolate dall'influenza dei circuiti innati, allestiti in modo preciso, che riguardano la regolazione biologica.*

In breve, l'attività dei circuiti dei settori cerebrali più giovani e orientati dall'esperienza (la neocorteccia, ad esempio) è indispensabile per produrre una particolare classe di rappresentazioni neurali su cui si basano la mente (immagini) e le azioni consce. Ma la neocorteccia non può produrre immagini, se non sono integre e cooperanti le parti più antiche, sotterranee, del nostro cervello (ipotalamo, midollo allungato).

Questa disposizione può essere motivo di incertezza. Abbiamo qui vari circuiti innati che hanno la funzione di regolare le funzioni corporee e di assicurare la sopravvivenza dell'organismo, attraverso il controllo dei processi biochimici interni del sistema endocrino, di quello immunitario, dei visceri,

nonché il controllo di pulsioni e istinti. Perché tali circuiti dovrebbero interferire con la formazione di quelli più moderni e plastici, riguardanti la rappresentazione delle esperienze acquisite? Alla domanda – tutt'altro che irrilevante – si risponde osservando che, per essere adattative, sia le registrazioni delle esperienze sia le relative risposte devono essere valutate e foggiate da un insieme fondamentale di preferenze dell'organismo per cui la sopravvivenza è essenziale. E siccome tale valutazione e conformazione sono vitali perché l'organismo continui a esistere, i geni specificano anche che i circuiti innati devono esercitare un'influenza assai forte su pressoché tutto l'insieme dei circuiti che possono essere modificati dall'esperienza. In buona misura, tale influenza è opera dei neuroni « modulatori » che agiscono sul resto dei circuiti; essi sono ubicati nel midollo allungato e nel prosencefalo basale, e sono influenzati in ogni momento dalle interazioni dell'organismo. I neuroni modulatori distribuiscono i neurotrasmettitori (dopamina, norepinefrina, serotonina, acetilcolina) in regioni diffuse della corteccia cerebrale e dei nuclei subcorticali. Si può descrivere questo ingegnoso assetto nel modo seguente: 1) i circuiti regolatori innati sono coinvolti nel promuovere la sopravvivenza dell'organismo, e per questo motivo « sono al corrente » di quanto accade nei settori cerebrali più moderni; 2) a questi circuiti viene segnalato con regolarità se le cose vanno bene o male; 3) la loro reazione intrinseca consiste nell'influenzare il modo in cui il resto del cervello viene foggiato, in modo che esso possa contribuire alla sopravvivenza nel modo più efficace.

Così, via via che ci sviluppiamo, dall'infanzia all'età adulta, il disegno dei circuiti cerebrali che rappresentano il nostro corpo in evoluzione e le sue interazioni con il mondo sembra dipendere dalle attività nelle quali l'organismo è impegnato e dall'azione di circuiti innati di bioregolazione, *in quanto que-*

sti ultimi reagiscono a quelle attività. Si vede quindi come sia inadeguato concepire cervello, mente e comportamento in termini di contrapposizione fra natura e cultura, fra geni ed esperienza. Alla nascita il nostro cervello non è tabula rasa, né lo è la mente. E nemmeno, però, essi sono completamente determinati per via genetica: la genetica proietta un'ombra grande ma non totale. I geni provvedono a componenti cerebrali con struttura *definita* e ad altri la cui struttura esatta *deve essere determinata.* Ma a quest'ultima si può pervenire solo sotto l'influenza di tre elementi: 1) la struttura esatta; 2) circostanze e attività individuali (e qui l'ultima parola viene sia dall'ambiente umano e fisico, sia dal caso); 3) spinte di auto-organizzazione che scaturiscono dalla complessità stessa del sistema. L'imprevedibile tracciato delle esperienze del singolo individuo si fa sentire, direttamente e indirettamente, nel disegno del circuito, attraverso la reazione che esso induce nei circuiti innati e attraverso le conseguenze che tali reazioni provocano nel processo complessivo di formazione dei circuiti.[17]

Nel capitolo 2 ho affermato che il funzionamento dei circuiti di neuroni dipende dagli schemi delle connessioni tra i neuroni stessi e dalla forza delle sinapsi che stabiliscono tali connessioni. Ad esempio, in un neurone eccitatorio, sinapsi forti facilitano la scarica e sinapsi deboli hanno l'effetto opposto. Adesso posso sostenere che, siccome esperienze diverse fanno variare la forza delle sinapsi dentro e attraverso molti sistemi neurali, l'esperienza foggia il disegno dei circuiti. Inoltre – in alcuni sistemi più che in altri – la forza delle sinapsi può variare lungo tutto il corso dell'esistenza, come riflesso di differenti esperienze dell'organismo; ne risulta che il disegno dei circuiti cerebrali continua a cambiare. I circuiti non sono soltanto ricettivi rispetto ai risultati della prima esperienza, ma anche più volte adattabili e modificabili da esperienze continuate.[18]

Vi sono circuiti che vengono rimodellati più e più volte nel corso dell'esistenza, secondo i cambiamenti che l'organismo subisce. Altri, invece, rimangono in massima parte stabili, e formano la spina dorsale del complesso di nozioni che ci siamo costruite sul mondo interno e su quello esterno. L'idea che tutti i circuiti siano labili non regge: una modificabilità totale avrebbe creato individui incapaci di riconoscersi l'un l'altro, privi del senso di una propria biografia; ciò non sarebbe adattativo, e manifestamente non accade. La condizione nota come arto fantasma ci fornisce una prova semplice ma chiara del fatto che certe rappresentazioni acquisite sono relativamente stabili. Alcuni soggetti che hanno subìto l'amputazione di un arto (per esempio di una mano e di un avambraccio) riferiscono al medico che sentono ancora l'arto mancante al suo posto, che possono sentirne i movimenti immaginari, che possono avvertire dolore, o freddo, o caldo, « nell »'arto mancante. È evidente che questi pazienti hanno un ricordo di quell'arto, altrimenti non potrebbero formarsene un'immagine nella propria mente; tuttavia con il tempo alcuni possono avvertire una riduzione dell'arto fantasma, il che sembrerebbe indicare che il ricordo – o la sua riproduzione nella coscienza – sta subendo una revisione.

Il cervello ha bisogno di un equilibrio tra circuiti la cui propensione alla scarica è mobile e mutevole come l'argento vivo e circuiti che sono restii – anche se non refrattari – al cambiamento. I circuiti che oggi ci aiutano a riconoscere senza sorpresa il nostro volto riflesso nello specchio sono stati modificati, a poco a poco, per adeguarsi alle modificazioni strutturali che il tempo ora trascorso ha apportato su quel volto.

6

REGOLAZIONE BIOLOGICA E SOPRAVVIVENZA

Disposizioni per la sopravvivenza

La sopravvivenza di un organismo dipende da un insieme di processi biologici che ne mantengono integri tessuti e cellule, in ogni parte della sua struttura. Provo a illustrarlo, seppure in forma semplificata. Tra i vari requisiti, i processi biologici devono disporre di un corretto approvvigionamento di ossigeno e di sostanze nutritizie, che si basa sulla respirazione e sull'alimentazione. A tale scopo, il cervello possiede circuiti neurali innati i cui schemi di attività, assistiti da processi biochimici del corpo, controllano in maniera affidabile riflessi, pulsioni e istinti, assicurando in tal modo che respirazione e alimentazione si compiano secondo bisogno. Per riportarsi a quanto detto nel capitolo precedente, i circuiti neurali innati contengono rappresentazioni disposizionali; attivarle mette in moto una complicata serie di risposte.

In un'altra prospettiva, per evitare la distruzione a opera di predatori o di condizioni ambientali avverse, vi sono circuiti neurali per pulsioni e istinti che provocano, ad esempio, comportamenti di combattimento o di fuga. Altri circuiti ancora regolano

pulsioni e istinti che contribuiscono ad assicurare la continuità dei geni di un individuo (attraverso il comportamento sessuale o la cura dei consanguinei). E si potrebbero menzionare svariati altri istinti e circuiti specifici: ad esempio quelli connessi con la ricerca, da parte di un organismo, dell'ammontare ottimo di luce o di oscurità, di caldo o di freddo, a seconda dell'ora del giorno o della temperatura ambiente.

In genere, pulsioni e istinti operano o generando in modo diretto un particolare comportamento o inducendo stati fisiologici che portano l'individuo a comportarsi – consapevolmente o no – in un certo modo. Pressoché tutti i comportamenti che conseguono da pulsioni e istinti contribuiscono alla sopravvivenza: o direttamente, compiendo un'azione che salva la vita, o indirettamente, favorendo condizioni che sono vantaggiose per la sopravvivenza o riducendo l'influenza di azioni potenzialmente nocive. Emozioni e sentimenti, che sono al centro della nozione di razionalità da me sostenuta, sono una manifestazione potente di pulsioni e istinti, parte integrante del loro operare.

Non sarebbe vantaggioso consentire alle disposizioni che controllano i processi biologici di base di cambiare molto. Infatti, un cambiamento significativo porterebbe con sé il rischio di un grave difetto nel funzionamento di svariati sistemi di organi, e la prospettiva di uno stato di malattia o addirittura di morte. Con questo non si vuole negare che noi siamo in grado di influenzare in modo intenzionale i comportamenti di solito governati da quegli schemi neurali innati. Noi possiamo, quando nuotiamo sott'acqua, trattenere il respiro per un certo tempo; oppure possiamo decidere di fare un lungo digiuno; possiamo anche modificare con facilità il battito cardiaco e perfino (con minore facilità) la pressione sanguigna del sistema circolatorio. Ma in nessuno

di tali casi vi è prova che le disposizioni cambino. Quel che cambia è questo o quel componente dello schema di comportamento che ne consegue, e vi riusciamo attraverso inibizione, in vari modi: mediante la forza muscolare (tratteniamo il respiro controllando le vie respiratorie superiori e la gabbia toracica) o per sola forza di volontà. E non si vuole negare nemmeno che gli schemi innati possano essere modulati nell'eccitazione, rendendo più o meno probabile che essi agiscano, da parte di segnali neurali provenienti da altre regioni cerebrali, o da parte di segnali chimici (quali ormoni o neuropeptidi) convogliati dal flusso sanguigno o lungo gli assoni. In effetti, molti neuroni del cervello sono dotati di recettori per ormoni provenienti ad esempio dalla tiroide, dalle ghiandole surrenali o dalle ghiandole riproduttive. Sia lo sviluppo iniziale sia il funzionamento regolare di quei circuiti sono influenzati da tale segnaletica.

Alcuni dei meccanismi regolatori di base operano a un livello nascosto, e l'individuo che li ospita al proprio interno non può mai averne conoscenza diretta. A meno di farne un'analisi, voi non conoscete lo stato dei vari ormoni, o degli ioni potassio, o degli eritrociti in circolazione nel vostro organismo. Ma vi sono meccanismi regolatori un po' più complessi (che coinvolgono comportamenti palesi) i quali lasciano conoscere la propria esistenza in modo indiretto, quando vi spingono ad agire (o a non agire) in un dato modo: sono gli istinti.

Un esempio sarà utile a spiegare in modo semplificato la regolazione tramite istinti. Qualche ora dopo un pasto, il tasso di zuccheri nel sangue si abbassa, e i neuroni dell'ipotalamo avvertono questo cambiamento; l'attivazione del relativo schema innato fa sì che il cervello modifichi lo stato del corpo in modo che possa aumentare la probabilità di correzione. Ora vi sentite affamati, e avviate azioni tali

da porre fine allo stato di fame: mangiate, e l'ingestione di cibo determina una correzione del tasso zuccherino nel sangue (questa volta sarà un aumento), mentre gli opportuni neuroni pongono il corpo nello stato la cui esperienza costituisce il senso di sazietà.

L'intero processo aveva l'obiettivo di salvare il corpo. Dal corpo proveniva il segnale che ha dato inizio al processo, e così pure i segnali che sono entrati nella coscienza, per spingervi a salvarlo. Dal corpo provenivano i segnali che vi informavano che esso non era più in pericolo, quando il ciclo si è concluso. Si potrebbe dire che si tratta di governo per il corpo e da parte del corpo, anche se è avvertito e gestito dal cervello.

Questi meccanismi regolatori assicurano la sopravvivenza muovendo una disposizione a eccitare alcuni schemi di cambiamenti corporei (una pulsione), che possono essere uno stato corporeo con un particolare significato (fame, nausea), oppure un'emozione ben riconoscibile (paura, ira), oppure una combinazione dei due. L'eccitazione può essere innescata dall'interno « viscerale » (tasso zuccherino basso nell'ambiente entro il corpo), dall'esterno (uno stimolo minaccioso), o dall'interno « mentale » (l'accorgersi che sta per avvenire una catastrofe). In ognuno di questi casi si può instaurare una risposta interna bioregolatrice, oppure uno schema di comportamento istintivo, o un piano d'azione nuovo, o tutte queste risposte assieme. I circuiti neurali di base che fanno funzionare l'intero ciclo sono una dotazione standard dell'organismo – come i freni su un autoveicolo. Non bisogna fare una richiesta speciale perché vengano istallati: essi costituiscono un « meccanismo preorganizzato » (su questa nozione ritornerò nel capitolo seguente); tutto quello che avete dovuto fare è stato sintonizzare il meccanismo sul vostro ambiente.

Ma non è solo ai fini della regolazione biologica

di base che i meccanismi preorganizzati sono importanti. Essi aiutano anche l'organismo a classificare cose ed eventi come « buoni » o « cattivi » alla luce dei possibili riflessi sulla sopravvivenza. In altre parole, l'organismo possiede un insieme fondamentale di preferenze – o di criteri, di inclinazioni, di valori. Sotto l'influenza e i buoni uffici dell'esperienza, il repertorio delle cose categorizzate come buone o cattive cresce rapidamente, e cresce in modo esponenziale la capacità di scoprire altre cose buone o cattive.

Se una certa entità del mondo esterno è parte di una scena nella quale un *altro* componente era « buono » o « cattivo » (vale a dire, eccitava una disposizione innata), il cervello può classificare l'entità per la quale non era stato preselezionato alcun valore come se anch'essa fosse apprezzabile – a prescindere dal fatto che lo sia o no. Il cervello estende a tale entità il trattamento speciale semplicemente perché essa si trova vicina a una che di sicuro è importante; si potrebbe parlare di gloria (se la nuova entità è vicina a una cosa buona) o di colpa (se è vicina a una cosa cattiva) riflessa: la luce che avvolge un elemento genuinamente importante (buono o cattivo) illuminerà anche i suoi vicini. Ma per operare in tal modo il cervello deve entrare nel mondo possedendo una robusta dose di « conoscenza innata » su come regolare sé stesso e il resto del corpo. Via via che il cervello incorpora rappresentazioni disposizionali di interazioni con entità e scene significative per la regolazione innata, esso accresce le possibilità di includere entità e scene che possono o no essere significative per la sopravvivenza. E allorché ciò avviene, il nostro senso crescente di quel che il mondo esterno può essere viene appreso come modificazione dello spazio neurale nel quale corpo e cervello interagiscono. Non è solo la separazione tra mente e cervello a essere mitica: probabilmente anche la separazione tra mente e corpo è altrettanto fittizia.

La mente è incorporata, nel senso più pieno del termine, non soltanto intrisa nel cervello.

Ancora sulla regolazione di base

Gli schemi neurali innati che sembrano i più critici per la sopravvivenza sono preservati in circuiti del midollo allungato e dell'ipotalamo. Quest'ultimo ha una parte di rilievo nella regolazione delle ghiandole endocrine (tra cui la ghiandola pituitaria – o ipofisi –, la tiroide, le ghiandole surrenali e gli organi riproduttivi: tutti produttori di ormoni) e nel funzionamento del sistema immunitario. La regolazione endocrina (che dipende da sostanze chimiche immesse nel flusso sanguigno piuttosto che da impulsi neurali) è indispensabile per accudire alla funzione metabolica e per gestire la difesa dei tessuti biologici dai micropredatori quali ad esempio virus, batteri e parassiti.[1]

Completano la regolazione biologica riferita al midollo allungato e all'ipotalamo i controlli che avvengono nel sistema limbico, che è un settore del cervello di non piccole dimensioni. Qui non è possibile considerarne nei particolari la funzione e la complicata anatomia; ma va osservato che esso partecipa anche all'operare di pulsioni e istinti, e ha un ruolo molto importante rispetto a emozioni e sentimenti. Io credo, peraltro, che a differenza di midollo allungato e ipotalamo (i cui circuiti sono per lo più innati e stabili), il sistema limbico contenga sia circuiti innati sia circuiti modificabili dall'esperienza dell'organismo in continua evoluzione.

Con l'ausilio delle attigue strutture del sistema limbico e del midollo allungato, l'ipotalamo regola l'ambiente interno (nome e concetto, che ho già impiegato in precedenza, si devono al grande pioniere della fisiologia Claude Bernard), rappresentabile come l'insieme dei processi biochimici che in un

istante qualsiasi sono in atto in un organismo. La vita dipende dal mantenersi di tali processi biochimici entro una banda opportuna, giacché uno scostamento eccessivo in punti chiave del profilo d'azione può avere come esito il malessere o la morte. A loro volta, l'ipotalamo e le strutture interconnesse sono regolati da segnali chimici e neurali provenienti da altre regioni del cervello, e anche da segnali chimici aventi origine in svariati sistemi corporei.

È immediato vedere che tale regolazione chimica è particolarmente complessa: infatti, la produzione degli ormoni liberati dalla tiroide e dalle surrenali (senza cui non potremmo vivere) è controllata in parte da segnali chimici provenienti dall'ipofisi. Quest'ultima, a sua volta, è controllata in parte da segnali chimici che l'ipotalamo immette nel flusso sanguigno in vicinanza dell'ipofisi, e l'ipotalamo è controllato in parte da segnali neurali provenienti dal sistema limbico e, indirettamente, dalla neocorteccia. (Si noti l'importanza dell'osservazione seguente: l'attività elettrica anormale di alcuni circuiti del sistema limbico durante gli attacchi epilettici non provoca soltanto un'alterazione dello stato mentale, ma anche profonde anomalie ormonali, che possono portare una quantità di malattie somatiche: ad esempio cisti ovariche). Viceversa, ogni ormone del flusso sanguigno agisce sulla ghiandola che lo ha secreto, come pure sull'ipofisi, sull'ipotalamo e su altri settori del cervello. In altri termini, i segnali neurali danno origine a segnali chimici, i quali danno origine ad altri segnali chimici, e questi ultimi possono modificare la funzione di molte cellule e tessuti (anche del cervello) e alterare i circuiti regolatori che hanno dato inizio al ciclo. Tali meccanismi regolatori molteplicemente concatenati sovrintendono – localmente e globalmente – alle condizioni corporee in modo tale che i costituenti dell'organismo (dalle molecole agli organi) operino mantenendosi entro i parametri che la sopravvivenza richiede.

Vi sono strati di regolazione, interdipendenti su molte dimensioni. Ad esempio, un dato meccanismo può dipendere da uno più semplice ed essere influenzato da uno altrettanto o più complesso. L'attività dell'ipotalamo può influenzare quella della neocorteccia, direttamente o attraverso il sistema limbico, e vale anche l'inverso.

Di conseguenza, come ci si poteva aspettare, vi è una documentata interazione tra cervello e corpo, e forse è possibile riscontrare interazioni meno visibili. Un esempio: lo stato di stress mentale cronico, collegato all'elaborazione in numerosi sistemi cerebrali al livello della neocorteccia, del sistema limbico e dell'ipotalamo, sembra portare a un eccesso di produzione di una sostanza chimica – il peptide CGRP (*calcitonin gene-related peptide*) – nei terminali nervosi della pelle.[2] Si ha un eccesso di deposito di CGRP sulla superficie delle cellule di Langerhans, che fanno parte del sistema immunitario con il compito di catturare gli agenti di infezione e portarli ai linfociti, in modo che il sistema immunitario possa reagire alla loro presenza. Ma quando sono completamente rivestite di CGRP le cellule di Langerhans risultano inattive, non più in grado di adempiere al compito di guardiani. Il risultato finale è che il corpo risulta più vulnerabile rispetto alle infezioni: un'importante via di accesso ora è meno difesa. Vi sono molti altri esempi di interazione mente-corpo: tristezza e ansietà possono alterare vistosamente la regolazione degli ormoni sessuali, causando cambiamenti non solo della pulsione sessuale ma anche del ciclo mestruale. Il lutto (un'altra condizione che dipende da elaborazioni estese a tutto il cervello) conduce a una depressione del sistema immunitario tale che l'individuo è più suscettibile di contrarre infezioni e di sviluppare certi tipi di cancro, come conseguenza diretta o indiretta.[3] Di cuore spezzato *si può* morire.

Naturalmente, è stata pure osservata l'influenza

inversa, cioè quella delle sostanze chimiche provenienti dal corpo sul cervello. Non sorprende che tabacco, alcool e medicinali o droghe penetrino nel cervello modificandone le funzioni e così alterando la mente. Alcune azioni delle sostanze chimiche del corpo incidono direttamente sui neuroni o sui loro sistemi di supporto; altre sono indirette, e si esplicano attraverso i neuroni che mediano i neurotrasmettitori, siti nel prosencefalo basale e nel midollo allungato (se ne è discusso in precedenza). Subito dopo la scarica, quelle piccole collezioni di neuroni possono diffondere una certa quantità di dopamina, noradrenalina, serotonina o acetilcolina in ampie regioni del cervello, tra cui i gangli basali e la corteccia cerebrale. Si può immaginare questa disposizione come un insieme di spruzzatori ben congegnati, ciascuno dei quali emette la propria sostanza chimica verso particolari sistemi e, all'interno di questi, verso particolari circuiti aventi particolari tipi e distribuzioni di recettori.[4] Se cambiano l'entità e la distribuzione secondo cui viene emesso uno di quei trasmettitori, o anche se cambia l'equilibrio relativo dei trasmettitori in un determinato sito, l'attività corticale può esserne rapidamente e profondamente influenzata, e così dare origine a stati di depressione o di esaltazione, financo a stati maniacali (si veda il cap. 7). I processi di pensiero possono rallentare o accelerare; l'abbondanza di immagini richiamate può diminuire o aumentare; la creazione di nuove combinazioni di immagini può essere esaltata o arrestata. E di concerto oscilla la capacità di concentrarsi su un particolare contenuto mentale.

Tristano, Isotta e il filtro d'amore

Vi ricordate di Tristano e Isotta? La loro vicenda è imperniata su una trasformazione della relazione tra i due protagonisti: Isotta chiede alla fedele an-

cella Brangania di prepararle un filtro di morte, ma Brangania prepara invece un filtro d'amore che sia Tristano sia Isotta bevono, ignari degli effetti che esso produrrà. La misteriosa pozione scatena in entrambi la passione più profonda, e porta l'uno e l'altra a uno stato di rapimento che nulla può infrangere – nemmeno il fatto che ciascuno dei due sta sordidamente tradendo il benevolo re Marco. Nell'opera *Tristano e Isotta*, Richard Wagner colse la forza del legame tra i due amanti in quelli che sono forse i più esaltanti e disperati passaggi amorosi di tutta la storia della musica; viene da chiedersi perché egli fosse attratto da questa storia e perché milioni di ascoltatori, da più di un secolo, abbiano condiviso la sua lettura.

Alla prima domanda si può rispondere dicendo che l'opera celebrava una passione reale – e molto simile – della vita di Wagner. Il compositore e Mathilde Wesendonk si erano innamorati, contro ogni loro più fondato giudizio, quando si consideri che Wagner era già sposato e che Mathilde era la moglie di un suo generoso benefattore. In Wagner era ben radicato il senso delle forze occulte e non frenabili che possono sopraffare la volontà del singolo e che, in mancanza di più adeguate spiegazioni, sono state attribuite alla magia o al destino.

Più incerta è la risposta alla seconda domanda. Vi sono di certo nel nostro corpo, e nel cervello, pozioni capaci di costringerci a comportamenti che possiamo o no essere in grado di escludere attraverso una forte determinazione: un esempio significativo è la sostanza chimica ossitocina.[5] Nei mammiferi, compreso l'uomo, essa è prodotta sia nel cervello (nei nuclei sopraottico e parvoventrale dell'ipotalamo) sia nel corpo (nelle ovaie e nei testicoli); può essere liberata dal cervello al fine di partecipare, ad esempio, direttamente o per interposizione di ormoni, alla regolazione del metabolismo; oppure può essere liberata dal corpo durante il parto, la stimo-

lazione sessuale dei genitali o dei capezzoli, o l'orgasmo, quando essa agisce non solo sul corpo stesso (ad esempio, nel parto, facendo rilassare i muscoli), ma anche sul cervello: quindi essa provoca né più né meno che l'effetto dei leggendari elisir. In generale, essa influenza una intera gamma di comportamenti materni, sessuali, di locomozione, di cure corporali. Ai fini della mia argomentazione, è più importante osservare che essa facilita le interazioni sociali e induce il legame tra partner nell'accoppiamento. Se ne trova un buon esempio negli studi di Thomas Insel sull'arvicola di prateria, roditore dal magnifico rivestimento peloso. Dopo un corteggiamento fulmineo e un primo giorno di ripetute, intense copulazioni, il maschio e la femmina rimangono uniti, fino a che morte non li separa. Il maschio, anzi, diviene irritabile nei confronti di qualunque altra creatura che non sia la sua femmina, e di solito si dà molto da fare attorno al nido. Questo legame costituisce un adattamento magnifico ma anche molto vantaggioso, in numerose specie, giacché tiene assieme gli individui che devono allevare la prole, ed è anche propizio ad altri aspetti dell'organizzazione sociale. Gli esseri umani fanno sicuramente uso in continuazione di molti degli effetti dell'ossitocina, anche se hanno imparato a evitare, in date circostanze, quelli che in conclusione possono risultare favorevoli oppure no. Si ricordi che per i due amanti wagneriani il filtro d'amore non fu propizio: tre ore più tardi (senza contare gli intervalli) essi muoiono di una morte desolata.

Alla neurobiologia del sesso, sulla quale già si sa molto, è possibile aggiungere ora i primi rudimenti della neurobiologia dell'attaccamento; così equipaggiati, possiamo fare un po' più di luce su quel complesso insieme di comportamenti e di stati mentali che chiamiamo amore.

Quello che è all'opera qui, nelle disposizioni circuitali estesamente ricorrenti che ho in precedenza

delineato, è una collezione di anelli di retroazione e di azione in avanti (*feedforward*), in cui alcuni degli anelli sono puramente chimici. Qui il fatto forse più significativo è che le strutture cerebrali implicate nella regolazione biologica di base sono anche parte della regolazione del comportamento, e sono indispensabili per l'acquisizione e il normale operare dei processi cognitivi. L'ipotalamo, il midollo allungato e il sistema limbico intervengono nella regolazione corporea e in tutti i processi neurali su cui si basano i fenomeni mentali: ad esempio, percezione, apprendimento, ricordo, emozione, sentimento e (come suggerirò più avanti) ragionamento e creatività. Vi è un intreccio assai stretto tra regolazione corporea, sopravvivenza e mente; esso avviene nei tessuti biologici e fa impiego di segnali elettrici e chimici – il tutto entro la *res extensa* di Cartesio (il regno fisico nel quale egli include il corpo e l'ambiente circostante, mentre esclude l'anima non fisica, assegnata alla *res cogitans*). È curioso notare che ciò avviene con la massima intensità in un sito non lontano dalla epifisi, la ghiandola pineale nella quale Cartesio tentò di imprigionare l'anima non fisica.

Oltre le pulsioni e gli istinti

In quale misura pulsioni e istinti da soli possano assicurare la sopravvivenza di un organismo sembra dipendere dalla complessità dell'organismo stesso. Tra gli animali (dagli insetti ai mammiferi) vi sono esempi incontestabili di confronto coronato da successo con particolari forme di ambiente, sulla base di strategie innate che senza dubbio includono sovente aspetti complessi di comportamento e cognizione sociale: non cesso mai di stupirmi di fronte all'intricata organizzazione sociale delle nostre lontane cugine scimmie, o di fronte agli elaborati rituali sociali di

molte specie di uccelli. Se però si considera la nostra, di specie, e gli assai più diversificati e largamente imprevedibili ambienti nei quali essa è prosperata, appare chiaro che gli esseri umani devono fare assegnamento su meccanismi biologici altamente evoluti, a base genetica, come pure su strategie di sopravvivenza che vanno oltre gli istinti e che si sono sviluppate nella società, sono trasmesse per via culturale e richiedono, per essere applicate, coscienza, decisione ragionata e forza di volontà. È per tale motivo che negli esseri umani fame, desiderio e ira esplosiva non procedono incontrollati fino al nutrirsi frenetico, all'aggressione sessuale o al delitto – non sempre, almeno, supponendo che un organismo umano sano si sia sviluppato in una società nella quale sono attivamente trasmesse e rispettate le strategie di sopravvivenza sopraistintuali.

Ben lo sanno, e da millenni, pensatori dell'Oriente e dell'Occidente, religiosi e no; l'argomento, ad esempio, impegnò sia Cartesio sia Freud, per citarne solo due tra i più vicini ai nostri tempi. Secondo il Cartesio delle *Passioni dell'anima*,[6] è il controllo delle tendenze animali mediante pensiero, ragione e volontà che ci ha reso umani, e io sono d'accordo, eccetto che in un punto: dove Cartesio indica un controllo ottenuto mediante un agente non fisico, io immagino un'attività biologica strutturata all'interno dell'organismo umano e per nulla meno complessa, ammirevole o sublime. La creazione di un super-Io capace di accordare gli istinti ai dettami sociali fu la risposta di Freud nel *Disagio della civiltà*, emendata dal dualismo cartesiano e però mai esplicita in termini neurali.[7] Oggi i neuroscienziati si trovano di fronte il compito di esaminare la neurobiologia su cui poggiano le sovraregolazioni adattative – cioè di studiare e comprendere le strutture cerebrali necessarie per intendere tali regolazioni. Non sto tentando, qui, di ridurre i fenomeni sociali a fenomeni biologici, ma piuttosto di discutere le forti

connessioni che legano gli uni agli altri. Dovrebbe essere chiaro che anche se cultura e civiltà scaturiscono dal comportamento di individualità biologiche, il comportamento è stato generato in collettivi di individui interagenti entro determinati contesti. Cultura e civiltà non sarebbero potute scaturire da singoli individui, e quindi non possono essere ridotte a meccanismi biologici, tanto meno a un sottoinsieme di specifiche genetiche; per comprenderle si richiedono tanto la neurobiologia e la biologia generale quanto le metodologie delle scienze sociali.

Nelle società umane, in aggiunta e al di sopra di quelle che già la biologia fornisce, vi sono convenzioni sociali e norme etiche. Questi strati aggiuntivi di controlli foggiano il comportamento istintivo in modo tale che possa essere adattato, con flessibilità, a un ambiente complesso e in rapida trasformazione, e assicurare la sopravvivenza dell'individuo e di altri (soprattutto se appartenenti alla medesima specie), in circostanze nelle quali una risposta preallestita, tratta dal repertorio naturale, sarebbe – immediatamente o alla lunga – controproducente. I pericoli pre-etichettati da tali convenzioni e regole possono essere immediati e diretti (danni fisici o mentali), oppure remoti e indiretti (perdite future, disagio). È solo attraverso l'istruzione e la vita sociale che tali convenzioni e regole vanno trasmesse di generazione in generazione; ma io ritengo che le rappresentazioni neurali della saggezza che esse incorporano, nonché dei mezzi per tradurre in atti tale saggezza, siano inestricabilmente legate alla rappresentazione neurale dei processi biologici innati di regolazione: immagino un « tracciato » collegante il cervello che rappresenta l'una al cervello che rappresenta le altre. Naturalmente, il tracciato è fatto di connessioni tra neuroni.

Per la maggior parte delle norme etiche e delle convenzioni sociali, a prescindere da quanto elevato possa essere il loro obiettivo, credo che si possa im-

maginare un legame significativo con obiettivi più semplici, e con pulsioni e istinti. Perché dovrebbe essere così? Perché gli effetti del conseguimento o del mancato conseguimento di un obiettivo sociale elevato contribuiscono (o almeno questa è la percezione che se ne ha), seppure indirettamente, alla sopravvivenza e alla qualità di tale sopravvivenza.

Questo significa forse che amore, generosità, gentilezza, pietà, rettitudine e altre lodevoli caratteristiche umane non sarebbero altro che il risultato di una regolazione neurobiologica, cosciente ma egoistica, orientata alla sopravvivenza? Significa negare la possibilità dell'altruismo, non ammettere il libero arbitrio? Significa che non esistono amore vero, amicizia sincera, pietà genuina? Di certo *non* è così. L'amore è vero, l'amicizia è sincera, la pietà è genuina se io non fingo riguardo ai miei sentimenti, se io davvero mi sento amorevole, amichevole, pietoso. Forse sarei maggiormente degno di lode se pervenissi a tali sentimenti attraverso la sola forza di volontà e il puro sforzo intellettuale; ma se non è così, se la mia presente natura mi aiuta a farlo più rapidamente, a essere amabile e retto senza sforzarmi?... L'autenticità del sentimento (che riguarda l'accordo tra quel che dico e faccio e quel che ho in mente), la grandezza del sentimento, la bellezza del sentimento, non sono compromesse dal rendersi conto che la sopravvivenza, il cervello e un'educazione adeguata hanno molto a che fare con le ragioni per le quali così sentiamo. Lo stesso, in larga parte, vale per l'altruismo e il libero arbitrio. Rendersi conto che dietro il comportamento umano più sublime vi sono certi meccanismi biologici non comporta una riduzione semplicistica alla meccanica della neurobiologia. In ogni caso, la parziale spiegazione della complessità per mezzo di qualcosa che è meno complesso non significa impoverimento.

Il quadro che vado tracciando per l'essere umano è quello di un organismo che viene alla vita dotato

di meccanismi automatici di sopravvivenza, al quale l'educazione e l'acculturazione apportano un insieme di strategie di decisione socialmente ammissibili e desiderabili, che a loro volta rafforzano la sopravvivenza, ne migliorano la qualità e servono da base per la costruzione di una *persona*. Alla nascita, il cervello umano comincia a svilupparsi dotato di pulsioni e istinti che comprendono non solo un corredo fisiologico per la regolazione del metabolismo, ma anche dispositivi di base per affrontare comportamento e cognizione sociale. Dallo sviluppo dell'età infantile esso emerge dotato di ulteriori livelli di strategie di sopravvivenza: la base neurofisiologica di tali strategie aggiunte è intrecciata con quella del repertorio degli istinti, e non solo ne modifica l'uso, ma ne estende anche la portata. Nel loro disegno formale d'assieme, i meccanismi neurali su cui poggia il repertorio sopraistintivo possono essere simili a quelli che governano le pulsioni biologiche, e da queste possono essere vincolati. Tuttavia essi richiedono l'intervento della società, per diventare ciò che diverranno, e perciò hanno riferimento sia in una data cultura sia nella neurobiologia generale. Inoltre, fuori da questa doppia costrizione, le strategie di sopravvivenza di quel repertorio generano qualcosa che probabilmente è proprio solo degli esseri umani: un punto di vista morale che, all'occasione, può trascendere gli interessi del gruppo ristretto, e anche quelli della specie.

7

EMOZIONI E SENTIMENTI

Come tradurre in termini neurobiologici le idee esposte alla fine del capitolo precedente? I dati raccolti sulla regolazione biologica dimostrano che nelle strutture cerebrali evolutivamente più antiche hanno luogo continuamente selezioni di risposta delle quali gli organismi non hanno coscienza e che non sono, quindi, deliberate. Gli organismi (come i rettili) dotati di un cervello che comprende solo quelle strutture arcaiche ed è privo delle strutture evolutivamente più recenti compiono tali selezioni di risposta senza difficoltà. Si potrebbero concepire le selezioni di risposta come una forma elementare di decisione, purché sia chiaro che a compiere la decisione non è un sé consapevole, ma un insieme di circuiti neurali.

E tuttavia vi è un buon accordo sul fatto che, quando si trovano di fronte a situazioni complesse e devono decidere in condizioni di incertezza, gli organismi sociali devono chiamare in causa sistemi racchiusi nella neocorteccia – il settore evolutivamente moderno del cervello. Vi sono dati che indicano una relazione tra l'espansione e sottospecializ-

zazione della neocorteccia e la complessità e imprevedibilità degli ambienti che tale espansione consente agli individui di affrontare. A questo riguardo è importante la scoperta di John Allman: indipendentemente dalle dimensioni corporee, la neocorteccia delle scimmie che si nutrono di frutti è più grande di quella delle scimmie che si nutrono di foglie.[1] Le prime devono possedere una memoria più ricca, in modo da poter ricordare dove e quando cercare frutti commestibili, in modo da evitare le piante prive di frutti o con frutti marci. La neocorteccia più ampia provvede alla maggiore capacità di memoria fattuale di cui esse hanno bisogno.

Tra le capacità di elaborazione delle strutture cerebrali «basse e antiche» e quelle delle strutture «alte e nuove» vi è una differenza così lampante che ne è scaturito un giudizio implicito e apparentemente sensato sulle rispettive competenze di questi settori del cervello. In parole semplici: il nocciolo antico del cervello si occupa della regolazione biologica di base, giù nello scantinato, mentre in alto la neocorteccia pondera con saggezza e perspicacia. Ai piani alti della corteccia vi sono ragione e forza di volontà, mentre in basso, nella regione subcorticale, risiedono l'emozione e tanta materia organica stupida.

Questo modo di vedere non coglie l'assetto neurale sotteso dal processo di decisione razionale come lo vedo io. Per un verso, esso non è compatibile con le osservazioni esaminate nella Parte prima. Per un altro verso, vi sono dati indicanti che la longevità – verosimilmente un riflesso della qualità del ragionamento – è correlata non solo con l'accresciuta dimensione della neocorteccia (come era ovvio attendersi), ma anche con l'accresciuta dimensione dell'ipotalamo, che costituisce il compartimento principale dei piani bassi.[2] Sembra che l'apparato della razionalità, tradizionalmente ritenuto *neo*corticale, non operi senza quello della regolazione biologica,

tradizionalmente considerato *sub*corticale; sembra, cioè, che la natura abbia edificato il primo non semplicemente alla sommità del secondo, ma anche *con* questo e *a partire da* questo. Io credo che i meccanismi del comportamento che vanno oltre pulsioni e istinti facciano uso sia dei piani alti sia dei piani bassi: la neocorteccia risulta impegnata *insieme* con il più antico nucleo cerebrale, e la razionalità è l'effetto della loro attività di concerto.

Ci si può chiedere, qui, in quale misura i processi razionali e quelli non razionali siano associati, rispettivamente, alle strutture corticali e a quelle subcorticali del cervello umano. Per affrontare tale domanda, passerò a considerare emozione e sentimento, che sono aspetti centrali della regolazione biologica, e suggerirò che sono questi a fornire il ponte fra processi razionali e processi non razionali, fra strutture corticali e strutture subcorticali.

Emozioni

Circa un secolo fa William James, le cui intuizioni sulla mente umana si possono porre a confronto solo con quelle di Shakespeare o di Freud, formulò un'ipotesi sorprendente sulla natura dell'emozione e del sentimento. Egli scriveva:

« Se noi immaginiamo qualche emozione intensa e poi cerchiamo di astrarre dalla nostra coscienza di essa tutte le percezioni dei suoi sintomi corporei, troviamo che non rimane nulla, che non vi è una "materia mentale" della quale l'emozione possa essere costituita, e che tutto quel che rimane è uno stato freddo e neutro di percezione intellettuale ».

Sulla base di esempi convincenti egli proseguiva:

« Per me è del tutto impossibile pensare quale genere di emozione rimarrebbe se non fosse presente il sentire un'accelerazione del battito cardiaco, o una contrazione del respiro, o un tremito delle lab-

bra, o un indebolimento degli arti, o la pelle d'oca, o i visceri in subbuglio. È possibile immaginare uno stato di rabbia e non figurarsi un ribollire del petto, vampate al viso, narici dilatate, denti serrati, impulso ad agire, e al loro posto invece muscoli rilassati, respirazione tranquilla e un volto sereno? ».[3]

Con queste parole (molto in anticipo sui suoi tempi, e sui nostri) James coglieva il meccanismo che è essenziale per comprendere emozione e sentimento. Purtroppo – e stranamente, per lui – il resto della sua esposizione era tanto poco all'altezza della varietà e della complessità dei fenomeni considerati che è stato fonte di controversie infinite, talora prive di sbocchi.[4] (Qui non mi è possibile riferire in modo adeguato dell'ampia messe di studi sull'argomento, che è stato passato in rassegna da George Mandler, Paul Ekman, Richard Lazarus e Robert Zajonc).

La maggiore difficoltà che la posizione di James ha presentato per alcuni non sta tanto nel fatto che egli riduce l'emozione a un processo che riguarda il corpo (per quanto sconvolgente ciò possa essere stato per i suoi critici), ma piuttosto nel fatto che egli non dava peso, o quasi, al processo di valutazione mentale della situazione che determina l'emozione. Il quadro da lui tracciato va bene per le prime emozioni che un individuo prova nella vita, ma non rende giustizia a quel che passa nella mente di Otello prima che in lui si sviluppino gelosia e rabbia, o a quello che Amleto va rimuginando prima di eccitare il proprio corpo fino a ciò che sentirà come ripugnanza, o al groviglio di ragioni per le quali Lady Macbeth proverà rapimento nel condurre il proprio sposo a un furore omicida.

Quasi altrettanto problematico era il fatto che James non prevedeva alcun meccanismo aggiuntivo o alternativo capace di generare il sentimento che corrisponde a un corpo eccitato da un'emozione.

Sempre, secondo James, il corpo è interposto, in questo processo. Inoltre, egli non poteva dire molto riguardo al possibile ruolo dell'emozione nel comportamento e nella cognizione. Ma ho già osservato nell'Introduzione che le emozioni non sono un lusso; esse hanno un ruolo, nel comunicare significati ad altri, e possono anche adempiere la funzione di guida cognitiva che suggerirò nel prossimo capitolo.

In breve, James postulava un processo di base nel quale particolari stimoli ambientali eccitano un quadro specifico di reazioni corporee per mezzo di un meccanismo innato e inderogabile. Perché la reazione avvenisse, non vi era alcun bisogno di valutare l'importanza degli stimoli. « Ogni oggetto che eccita un istinto eccita del pari un'emozione » dichiarava in modo lapidario, senza però aggiungere chiarezza.

Sappiamo che in molte circostanze della nostra vita di esseri sociali le emozioni vengono accese solo a seguito di un processo mentale valutativo, volontario, non automatico. Per la natura della nostra esperienza, un'ampia gamma di stimoli e di situazioni si è venuta associando con gli stimoli predisposti in modo innato per provocare emozioni; la reazione a quella gamma di stimoli e di situazioni può essere filtrata da una valutazione interposta, che è conscia. Proprio a motivo di tale processo di filtraggio valutativo e ponderato, possono variare l'estensione e l'intensità degli schemi emotivi predisposti; vi è, in effetti, una modulazione del meccanismo di base delle emozioni messo assieme da James. Per di più, sembrano esservi altri mezzi neurali per acquisire quel senso del corpo che James considerava l'essenza del processo emotivo.

Per esporre il mio modo di spiegare emozione e sentimento comincerò con una prospettiva di storia della persona, e chiarirò la differenza tra le emozioni di cui facciamo esperienza nella fase iniziale della vita (e per le quali un « meccanismo preorganizza-

to » alla James potrebbe essere sufficiente) e le emozioni che proviamo da adulti, la cui incastellatura è stata eretta in modo graduale sulle emozioni della fase iniziale. Suggerisco di chiamare « primarie » le emozioni della fase iniziale e « secondarie » quelle della fase adulta.

EMOZIONI PRIMARIE

In quale misura le reazioni emotive sono « istallate » già alla nascita? Direi che né gli animali né gli esseri umani recano preistallata, in modo innato, la paura dell'orso, o la paura dell'aquila (anche se alcuni animali e alcuni esseri umani possono avere innata la paura dei ragni o la paura dei serpenti). Non ho difficoltà a riconoscere che è possibile che siamo predisposti a rispondere con un'emozione, in modo preorganizzato, quando vengono percepite nel mondo esterno o nel nostro corpo – isolatamente o in combinazione – certe caratteristiche di stimoli, di cui sono esempi la dimensione (come per gli animali grossi); l'estensione (come per l'apertura alare dell'aquila); il tipo di movimento (come per i rettili); certi suoni (come il ringhio); certe configurazioni di stati del corpo (come il dolore che si avverte durante un attacco cardiaco). Una per una o in associazione, queste caratteristiche saranno elaborate e quindi rivelate da un componente del sistema limbico (l'amigdala, per esempio); i suoi nuclei di neuroni posseggono una rappresentazione disposizionale che innesca l'instaurarsi di uno stato corporeo tipico dell'emozione paura, e modifica l'elaborazione cognitiva in una maniera che si adatta allo stato di paura (vedremo più avanti che il cervello può « simulare » stati corporei e aggirare il corpo; discuteremo anche in qual modo si ottenga tale alterazione cognitiva). Si osservi che per provocare una risposta corporea non occorre « riconoscere » l'orso o il serpente o l'aquila in quanto tali, né occorre sapere che

cosa esattamente stia causando dolore. Tutto quello che occorre è che le cortecce sensitive di ordine inferiore rivelino e categorizzino la o le caratteristiche chiave di una data entità (animale, oggetto) e che strutture come l'amigdala ricevano segnali relativi alla loro presenza *combinata*. Il pulcino nel nido non conosce l'aquila, ma reagisce subito con allarme, nascondendo la testa, non appena scorge un oggetto dotato di larghe ali che gli vola sopra a una certa velocità (fig. 7.1).

La risposta emotiva di per sé può fare conseguire alcuni obiettivi utili: celarsi rapidamente a un predatore, ad esempio, o esibire collera verso un rivale. Ma il processo non si arresta con i cambiamenti del corpo che definiscono l'emozione; il ciclo continua – sicuramente negli esseri umani – e il passo successivo è il *sentire l'emozione* in connessione con l'oggetto che l'ha suscitata, il rendersi conto del legame tra oggetto e stato emotivo del corpo. Qui ci si potrebbe chiedere perché mai sarebbe necessario essere a conoscenza di tale relazione: perché complicare le cose e introdurre in questo processo la coscienza, se già vi è un mezzo per rispondere in modo adattativo, a un livello automatico? La risposta è che la coscienza procura una polizza a più ampia protezione. Si consideri l'esempio seguente: se venite a *sapere* che l'animale o l'oggetto o la situazione X provoca paura, vi si offrono due possibili modi di comportamento rispetto a X. Il primo è innato, non è controllato da voi e inoltre non è specifico per X: un gran numero di creature, di oggetti o di circostanze può provocare quella risposta. Il secondo è specifico per X ed è basato sulla vostra esperienza: sapere di X vi consente di pensarvi in anticipo e di prevedere la probabilità che si presenti in un dato ambiente, cosicché voi potete evitarlo preventivamente, invece di essere costretti a reagire quando sarà presente, in una situazione di emergenza.

Ma « sentire » le reazioni emotive comporta altri

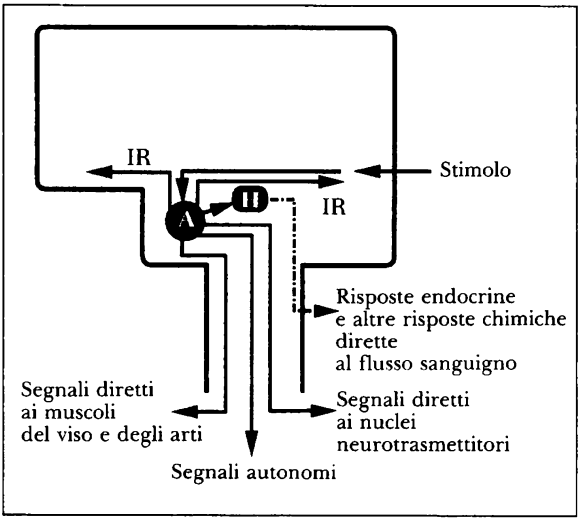

Fig. 7.1 Emozioni primarie. Il contorno più marcato rappresenta il cervello e il midollo allungato. Dopo che un opportuno stimolo ha attivato l'amigdala (A), ne consegue un certo numero di risposte: risposte interne (IR); risposte muscolari; risposte dei visceri (segnali autonomi); risposte dirette ai nuclei neurotrasmettitori e all'ipotalamo (H). L'ipotalamo è sorgente di risposte endocrine e di altre risposte chimiche, che seguono la via del flusso sanguigno. Il disegno omette svariate altre strutture cerebrali necessarie perché avvenga questa larga schiera di risposte: per esempio, le risposte muscolari con le quali esprimiamo le emozioni tramite la postura del corpo probabilmente impiegano strutture dei gangli basali (il cosiddetto corpo striato ventrale).

vantaggi: consente di generalizzare la conoscenza e di decidere, ad esempio, di essere cauti di fronte a qualsiasi cosa che assomigli a X. (Va da sé che un eccesso di generalizzazione e di cautela può portare alla fobia, il che non è proprio un bene). Inoltre, può darsi che il vostro primo incontro con X vi abbia fatto scoprire nel suo comportamento qualcosa di peculiare e di potenzialmente vulnerabile, e può

darsi che voi vogliate sfruttare questa vulnerabilità al prossimo incontro: ecco un'altra ragione che rende necessario l'aver *saputo*. In breve, sentire gli stati emotivi, vale a dire essere consci delle emozioni, vi dà *flessibilità di risposta sulla base della particolare storia delle vostre interazioni con l'ambiente*. Anche se sono necessari dispositivi innati per avviare la ruota della conoscenza, i sentimenti vi offrono qualcosa in più.

Le emozioni primarie (si legga: innate, preorganizzate, jamesiane) dipendono dai circuiti del sistema limbico – in primo luogo l'amigdala e il cingolato anteriore. Osservazioni compiute sia su esseri umani sia su animali indicano nell'amigdala l'attore principale. Del ruolo dell'amigdala si sono occupate precipuamente varie ricerche su animali compiute da Pribram, Weiskrantz, Aggleton e Passingham; più di recente, e forse con la massima completezza, da Joseph LeDoux.[5] Altri contributi si devono a E.T. Rolls, a Michael Davis e a Larry Squire con il suo gruppo; il loro lavoro era diretto a comprendere la memoria, ma ha anche rivelato un legame tra amigdala ed emozione.[6] Anche Wilder Penfield ha collegato l'amigdala all'emozione, così come Pierre Gloor ed Eric Halgren, quando hanno studiato pazienti epilettici per i quali una valutazione in prospettiva chirurgica richiedeva la stimolazione elettrica di varie regioni del lobo temporale.[7] Più di recente, osservazioni a conferma riguardo all'amigdala, per esseri umani, sono venute da ricercatori del mio gruppo; andando all'indietro, il primo accenno a una possibile relazione tra amigdala ed emozione si può trovare nell'opera di Heinrich Kluver e Paul Bucy,[8] i quali mostrarono come la resezione chirurgica della parte di lobo temporale contenente l'amigdala dava origine a indifferenza affettiva – oltre a svariati altri sintomi. (Nel cap. 4 si sono visti i dati indicanti una relazione tra cingolato anteriore ed emozione; per le descrizioni si vedano Laplane *et al.*, 1981, e A. Damasio e G.W. van Hoesen, 1983).[9]

Ma il meccanismo delle emozioni primarie non descrive l'intera gamma dei comportamenti emotivi. Esse costituiscono sicuramente il meccanismo di base; io credo che, in termini di sviluppo dell'individuo, esse siano seguite dai meccanismi delle *emozioni secondarie*, che si presentano una volta che abbiamo cominciato a provare sentimenti e a formare *connessioni sistematiche tra categorie di oggetti e situazioni, da un lato, ed emozioni primarie, dall'altro.* Il processo delle emozioni secondarie non può poggiare soltanto sulle strutture del sistema limbico; la rete va ampliata, e ciò richiede l'intervento delle cortecce prefrontali e di quelle somatosensitive.

EMOZIONI SECONDARIE

Per affrontare questa nozione, passiamo a un esempio tratto dall'esperienza di un adulto. Supponete di incontrare un amico che non vedevate da tempo, o di apprendere la notizia della morte improvvisa di una persona con la quale avete avuto occasione di lavorare a stretto contatto. Nell'uno e nell'altro caso (e forse anche adesso, nell'immaginare la scena) provate un'emozione. Che cosa vi accade, da un punto di vista neurobiologico? Che cosa significa « provare un'emozione »?

Se fossi presente nel momento in cui voi vi figurate una di quelle situazioni (o altre simili), potrei riuscire a fare alcune osservazioni. Dopo la formazione di immagini mentali degli aspetti chiave della scena (l'incontro con l'amico che non vedevate da tempo; la morte del collega), nel vostro stato fisico si verifica un cambiamento, definito da svariate modificazioni in diverse regioni del corpo. Se incontrate un vecchio amico (nella vostra immaginazione), il cuore può accelerare i battiti, la pelle farsi rossa, i muscoli facciali agire su bocca e occhi, per dare un'espressione felice, mentre si rilassano i muscoli di altre parti del corpo. Se leggete della morte di un cono-

scente, il cuore può martellare, la bocca diventare secca, la pelle scolorarsi, una sezione dell'intestino contrarsi, i muscoli del collo e della schiena tendersi mentre quelli facciali disegnano una maschera di tristezza. In entrambi i casi, vi sono cambiamenti in un certo numero di parametri che definiscono la funzione dei visceri (cuore, polmoni, intestino, pelle), dei muscoli scheletrici (quelli attaccati alle ossa) e delle ghiandole endocrine (come le ghiandole surrenali o l'ipofisi). Il cervello libera nel flusso sanguigno un certo numero di modulatori peptidici. Anche il sistema immunitario ne è modificato bruscamente. L'attività di base della muscolatura liscia sulle pareti arteriose può aumentare, producendo contrazione e assottigliamento dei vasi sanguigni (il risultato è pallore), oppure ridursi, e in questo caso la muscolatura liscia si rilasserà e i vasi sanguigni si dilateranno (determinando rossore). L'insieme delle alterazioni definisce un profilo di scostamento da una gamma di stati medi che corrispondono all'equilibrio funzionale (omeostasi) entro il quale l'economia dell'organismo opera probabilmente al proprio meglio, con minore dispendio di energia e adeguamenti più semplici e più rapidi. Ma questa banda di equilibrio funzionale non va vista come statica: è piuttosto una successione continua di cambiamenti del profilo generale entro limiti superiori e inferiori, in movimento costante. La si può assimilare alla condizione di una falda d'acqua nella quale qualcuno cammini di continuo, in varie direzioni: alcune zone vengono abbassate, mentre altre si innalzano, si formano increspature; nell'assieme l'intera falda ne risulta modificata, ma le variazioni avvengono all'interno di una gamma determinata dai limiti fisici del sistema: un contorno che racchiude una certa quantità di fluido.

Nella vostra ipotetica esperienza dell'emozione, molte parti del corpo si trovano poste in uno stato nuovo, nel quale si introducono cambiamenti si-

gnificativi. Che cosa accade nell'organismo, per fare avvenire tali cambiamenti?

1) Il processo comincia con le considerazioni consapevoli, intenzionali, che voi fate riguardo a una persona o ad una situazione, e che vengono espresse come immagini mentali organizzate in un processo di pensiero; esse riguardano una miriade di aspetti della vostra relazione con quella persona, riflessioni sulla situazione presente e sulle conseguenze che può avere per voi e per altri – insomma, una valutazione cognitiva del contenuto dell'evento di cui siete parte. Alcune delle immagini che evocate sono non verbali (le sembianze di una data persona in un dato posto), altre sono verbali (parole e frasi riguardanti attributi, attività, nomi, ecc.). Il substrato neurale di tali immagini è una raccolta di rappresentazioni separate e topograficamente organizzate, in varie cortecce sensitive di ordine inferiore (visive, uditive e altre), costruite sotto la guida di rappresentazioni disposizionali distribuite su un gran numero di cortecce di associazione di ordine superiore.

2) A un livello non conscio, nella corteccia prefrontale vi sono reti che rispondono in modo automatico, non volontario, ai segnali che scaturiscono dall'elaborazione di tali immagini. Questa risposta prefrontale viene da rappresentazioni disposizionali che incorporano conoscenza relativa al modo in cui, secondo la vostra esperienza, certi tipi di situazioni sono stati accoppiati, di solito, a certe risposte emotive. In altre parole, viene da rappresentazioni disposizionali acquisite piuttosto che innate – anche se, come si è già discusso, le disposizioni acquisite vengono ottenute sotto l'influenza di disposizioni che sono innate. Quello che le rappresentazioni disposizionali acquisite incorporano è l'esperienza – unica – che di tali relazioni avete fatto nella vostra vita, e che può essere più o meno diversa da quella di altri: è solo vostra. Le relazioni fra tipo di situa-

zione ed emozione sono in larga misura simili per i diversi individui; ma è l'esperienza personale, unica, che confeziona il processo per ogni singolo individuo. Riassumendo: le rappresentazioni disposizionali prefrontali, acquisite, che sono necessarie per le emozioni secondarie, formano un lotto separato rispetto alle rappresentazioni disposizionali innate che sono necessarie per le emozioni primarie; e però, come si vedrà più avanti, le prime hanno bisogno delle seconde per potersi esprimere (fig. 7.2).

3) In modo automatico, non conscio e non volontario, la risposta delle rappresentazioni disposizionali prefrontali descritte in precedenza viene segnalata all'amigdala e al cingolato anteriore. Le rappresentazioni presenti in queste regioni rispondono nei modi seguenti: a) attivando i nuclei del sistema nervoso autonomo e mandando segnali al corpo attraverso i nervi periferici, con il risultato che i visceri vengono posti nello stato più frequentemente associato al tipo di situazione che dà l'avvio; b) mandando segnali al sistema motorio, cosicché i muscoli scheletrici completano, nelle espressioni facciali e nella postura del corpo, il quadro esterno di un'emozione: c) attivando il sistema endocrino e quello peptidico, le cui azioni chimiche danno come risultato cambiamenti dello stato del corpo e del cervello; d) attivando, infine, secondo schemi particolari, i nuclei neurotrasmettitori non specifici nel midollo allungato e nel prosencefalo basale, che quindi emettono i loro messaggi chimici a varie regioni del telencefalo (ad esempio, gangli basali e corteccia cerebrale). Tale serie di azioni, apparentemente completa, è una risposta massiccia, ed è variata; è diretta all'intero organismo e in una persona sana è un miracolo di coordinazione.

I cambiamenti provocati da a), b) e c) incidono sul corpo, causano uno « stato emotivo del corpo » e in seguito vengono segnalati, a ritroso, ai sistemi lim-

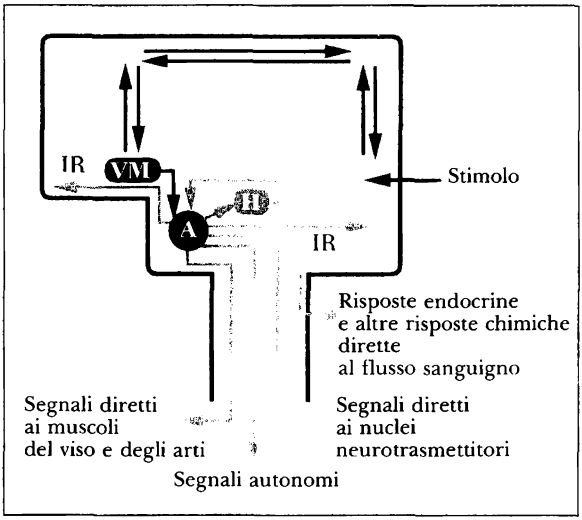

Fig. 7.2 Emozioni secondarie. Lo stimolo può ancora essere elaborato direttamente attraverso l'amigdala, ma ora è analizzato anche nel processo di pensiero e può attivare le cortecce frontali (VM). VM agisce attraverso l'amigdala (A). In altre parole, le emozioni secondarie utilizzano l'apparato delle emozioni primarie. Anche qui semplifico molto, poiché vengono attivate numerose cortecce prefrontali, a parte VM; ma credo che lo schema colga l'essenza del meccanismo. Si noti che VM dipende da A per esprimere la propria attività (se ne fa portare a cavalluccio, per così dire). Questa relazione di dipendenza-precedenza è un buon esempio di come la natura faccia riciclo e bricolage, utilizzando vecchie strutture e vecchi meccanismi per creare meccanismi nuovi e ottenere nuovi risultati.

bico e somatosensitivo. Quelli provocati da d), che non insorgono nel corpo, ma piuttosto in un gruppo di strutture del midollo allungato cui compete la regolazione del corpo, hanno un impatto forte sulle modalità e sull'efficienza dei processi cognitivi, e costituiscono una via parallela per la risposta emotiva. I differenti effetti di a), b), c) da un lato e d) dall'altro diverranno più chiari quando si discuterà, più avanti, dei sentimenti.

Dovrebbe comunque essere evidente, a questo punto, che l'elaborazione emotiva menomata nei pazienti con lesioni prefrontali è del tipo secondario. Questi pazienti non possono generare le emozioni relative alle immagini evocate da certe categorie di situazioni e di stimoli, e perciò non possono avere i sentimenti che ne conseguono: lo confermano le osservazioni cliniche e alcuni test speciali (si veda il cap. 9). Tuttavia quegli stessi pazienti prefrontali possono avere emozioni primarie: questa è la ragione per cui a prima vista la loro affettività può apparire integra (mostrano paura se qualcuno urla d'improvviso alle loro spalle, o se un terremoto scuote la loro casa). Al contrario, pazienti con lesioni al sistema limbico, all'amigdala o al cingolato anteriore di solito presentano una più estesa menomazione delle emozioni sia primaria sia secondaria, e perciò un più riconoscibile ottundimento dell'affetto.

Nella sua ricerca di soluzioni economiche, anche se un po' rabberciate, la natura non ha selezionato meccanismi indipendenti per l'espressione delle emozioni primarie e di quelle secondarie; semplicemente, ha consentito che queste ultime fossero espresse mediante lo stesso canale già apprestato per convogliare le emozioni primarie.

Nella sua *essenza*, per me, l'emozione è l'insieme dei cambiamenti dello stato corporeo che sono indotti in miriadi di organi dai terminali delle cellule nervose, sotto il controllo di un apposito sistema del cervello che risponde al contenuto dei pensieri relativi a una particolare entità, o evento. Molti dei cambiamenti dello stato corporeo (ad esempio quelli del colorito della pelle, della postura del corpo, dell'espressione del volto) possono effettivamente essere percepiti da un osservatore esterno. (Emozione significa, etimologicamente, « movimento da »: già questo suggerisce una direzione verso l'esterno, a partire dal corpo). Altri cambiamenti dello

stato corporeo risultano percepibili solo da parte del padrone del corpo in cui essi si producono. Ma nell'emozione vi è più della sua essenza.

Per concludere, l'emozione è frutto del combinarsi di un *processo valutativo mentale*, semplice o complesso, con le *risposte disposizionali a tale processo*, per lo più *dirette verso il corpo*, che hanno come risultato uno stato emotivo del corpo, ma anche *verso il cervello stesso* (i nuclei neurotrasmettitori del midollo allungato), che hanno come risultato altri cambiamenti mentali. Si noti che per il momento escludo dall'emozione la percezione di tutti i cambiamenti che costituiscono la risposta emotiva: riservo il termine *sentimento* all'esperienza di tali cambiamenti.

Specificità dell'apparato neurale dietro le emozioni

Lo studio di lesioni cerebrali circoscritte ha permesso di stabilire la specificità dei sistemi neurali preposti all'emozione. Nel mio schema, una lesione del sistema limbico menoma l'elaborazione dell'emozione primaria, mentre una lesione delle cortecce prefrontali compromette l'elaborazione dell'emozione secondaria. Roger Sperry e i suoi collaboratori (tra questi Joseph Bogen, Michael Gazzaniga, Jerre Levy ed Eran Zaidel) hanno determinato un interessante correlato neurale dell'emozione umana: le strutture dell'emisfero cerebrale destro mostrano, nei soggetti umani, un coinvolgimento preferenziale nell'elaborazione di base delle emozioni.[10] Altri ricercatori (Howard Gardner, Kenneth Heilman, Joan Borod, Richard Davidson e Guido Gainotti) hanno aggiunto altri risultati a conferma di una dominanza dell'emisfero destro per quanto riguarda l'emozione.[11] Le ricerche in corso nel mio laboratorio in generale

avvalorano l'idea di una asimmetria nel processo emotivo, ma indicano anche che le asimmetrie non riguardano in ugual misura tutte le emozioni.

È possibile misurare il grado di specificità neurale dei sistemi preposti all'emozione esaminando quanto ne è menomata l'espressione. Quando un colpo apoplettico distrugge la corteccia motoria nell'emisfero sinistro del cervello, causando paralisi del lato destro del volto, i muscoli non possono agire e la bocca viene tirata verso il lato che si muove normalmente: chiedere al paziente di aprire la bocca e mostrare i denti serve solo ad accentuare l'asimmetria. Ma quando il paziente sorride o ride spontaneamente, accade qualcosa di affatto diverso: il sorriso è normale, entrambi i lati della faccia si muovono in modo corretto e l'espressione è del tutto naturale, uguale a quella che il paziente avrebbe mostrato, nel sorridere, prima della paralisi. Si vede, quindi, che il controllo motorio di una sequenza di movimenti legata a un'emozione *non* fa capo allo stesso sito del controllo di un atto volontario; il primo tipo di movimento è innescato in un sito cerebrale diverso, anche se il teatro del movimento – il volto e la sua muscolatura – è lo stesso nei due casi (fig. 7.3).

Il risultato opposto si può constatare considerando un paziente nel quale un colpo abbia leso il cingolato anteriore nell'emisfero sinistro. A riposo, o in un movimento correlato a un'emozione, il volto è asimmetrico, meno mobile sul lato destro che sul sinistro; ma se il soggetto cerca di contrarre volontariamente i muscoli facciali, i movimenti vengono compiuti in modo normale e si ripristina la simmetria. Il controllo del movimento connesso con l'emozione, quindi, proviene dalla regione del cingolato anterio-

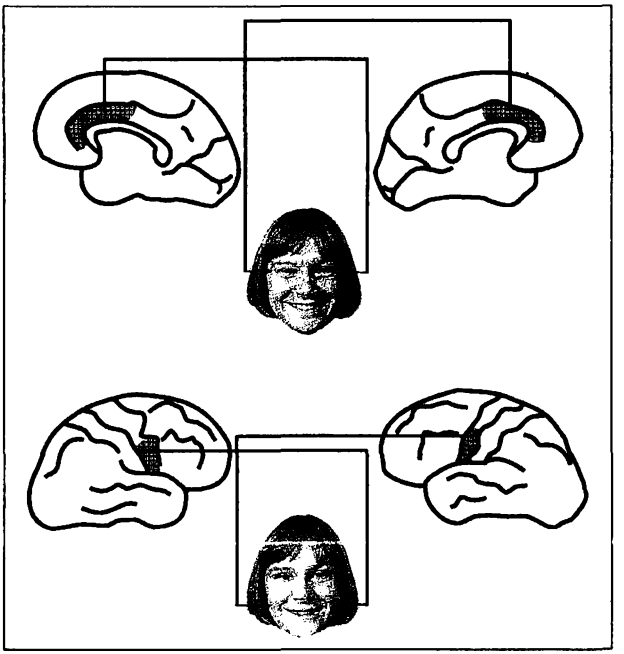

Fig. 7.3 L'apparato neurale per il controllo della muscolatura del volto nel « vero » sorriso di uno stato emotivo (in alto) è differente da quello per il controllo volontario, non emotivo, della medesima muscolatura (in basso). Il sorriso vero è controllato dalle cortecce limbiche e probabilmente impiega i gangli basali per esprimersi.

re, da altre cortecce limbiche (nel lobo temporale mediano) e dai gangli basali: un danno o una disfunzione di tali regioni provocano una paralisi facciale cosiddetta inversa o emotiva.

Il mio mentore Norman Geschwind, il neurologo di Harvard il cui lavoro gettò un ponte tra l'èra classica e l'èra moderna della ricerca sulla mente e sul cervello negli esseri umani, amava fare osservare che la ragione per la qua-

le ci riesce difficile sorridere in modo normale all'invito del fotografo sta nel fatto che egli ci chiede di controllare in modo volontario i muscoli facciali impiegando la corteccia motoria e il suo tratto piramidale. (Questo nome designa il massiccio insieme di assoni che scaturisce dalla corteccia motoria primaria – area 4 di Brodmann – e scende a innervare i nuclei del midollo allungato e del midollo spinale che attraverso i nervi periferici controllano i movimenti volontari). In tal modo produciamo quello che Geschwind soleva chiamare un « sorriso piramidale ». Non ci è facile imitare quello che il cingolato anteriore può fare senza sforzo; non disponiamo di un'agevole via neurale per esercitare un controllo volontario sul cingolato anteriore. Per sorridere in modo « naturale » non ci si offrono molte alternative: o imparare a farlo, oppure avere qualcuno che ci solletichi o che ci racconti una buona storiella. La carriera degli attori professionisti e degli uomini politici dipende da questa semplice, irritante condizione posta dalla neurofisiologia.

Ai primi, il problema è noto da tempo; ne sono scaturite tecniche differenti. Alcuni (uno per tutti: Laurence Olivier) si affidano all'abile creazione, sotto il controllo della volontà, di un insieme di movimenti che suggeriscono in modo credibile l'emozione. Attingendo a una minuziosa conoscenza di come le emozioni (la loro espressione) appaiono all'osservatore esterno, e al ricordo di come ci si sente, di solito, quando si verificano tali cambiamenti, i grandi attori di questa scuola simulano con determinazione. Il fatto che pochi vi riescano è una misura delle difficoltà che la fisiologia del cervello frappone sulla loro strada.

Un'altra tecnica, esemplificata dal metodo di recitazione di Lee Strasberg e Elia Kazan (The

Method, ispirato dal lavoro di Konstantin Stanislavskij), si basa sulla capacità dell'attore di generare un'emozione, cioè di crearla anziché simularla. L'esito può essere più convincente e coinvolgente, ma richiede talento e maturità particolari, per reggere le briglie dei processi automatici liberati dall'emozione reale.

Fu Darwin il primo a notare (in *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli animali*, pubblicato nel 1872)[12] la differenza tra le espressioni facciali delle emozioni genuine e di quelle simulate. Darwin era a conoscenza delle osservazioni compiute un decennio prima da Guillaume-Benjamin Duchenne sulla muscolatura coinvolta nel sorriso e sul tipo di controllo occorrente per muoverla.[13] Duchenne arrivò a determinare che un sorriso di autentica gioia richiede la contrazione combinata, involontaria, di due muscoli: lo zigomatico maggiore e l'orbicolare dell'occhio (fig. 7.4); egli scoprì inoltre che il secondo poteva essere mosso solo in modo involontario: non v'era alcuna possibilità di farlo agire volontariamente. A metterlo in azione, secondo l'espressione di Duchenne, erano « le dolci emozioni dell'animo ». Quanto allo zigomatico maggiore, può essere attivato sia involontariamente sia volontariamente: è questa la strada giusta per i sorrisi di convenienza.

Sentimenti

Che cos'è un sentimento? Perché non uso i termini « emozione » e « sentimento » in modo intercambiabile? Una ragione è che, sebbene « sentimento » abbia una connotazione assai vicina a quella di « emozione », ne differisce (soprattutto in inglese, *feeling*) per la sua origine da *sentire* soprattutto tattile, e quindi mentre tutte le emozioni generano sentimenti, in

Fig. 7.4 Controllo conscio e non conscio della muscolatura del volto.

un soggetto sveglio e vigile, vi sono stati d'animo o sensazioni che chiamiamo ancora sentimenti ma che non traggono origine da emozioni. Chiamerò sentimenti delle emozioni i primi e sentimenti di fondo i secondi, che tratterò alla fine del capitolo.

Comincerò con l'esaminare i *sentimenti delle emozioni*, e per questo ritornerò allo stato emotivo dell'esempio discusso prima. Tutti i cambiamenti che un osservatore esterno può individuare, e molti altri che non sono individuabili dall'esterno (come l'accelerazione del battito cardiaco o la contrazione dell'intestino), voi li percepite *internamente*; tutti vengono segnalati in continuazione al cervello attraverso i terminali nervosi che al cervello convogliano impulsi provenienti dalla pelle, dai vasi sanguigni, dai visceri, dai muscoli volontari, dalle articolazioni, ecc. In termini neurali, il percorso di ritorno di questo itinerario dipende da circuiti che

hanno origine nella testa, nel collo, nel tronco e negli arti, fluiscono nel midollo allungato verso la formazione reticolare (un insieme di nuclei del midollo allungato che interviene nel controllo della veglia e del sonno, oltre che in altre funzioni) e il talamo, e viaggiano verso l'ipotalamo, le strutture limbiche e svariate cortecce somatosensitive distinte nelle regioni parietale e dell'insula. Queste ultime cortecce, in particolare, ricevono un resoconto di quel che accade nel corpo istante per istante: hanno cioè una « veduta » del mutevole paesaggio del corpo durante un'emozione. Se ricordate l'immagine della falda d'acqua, potete pensare a questa veduta come a un continuo segnalare che rappresenta molti dei cambiamenti locali della falda, i movimenti verso l'alto e verso il basso che essa manifesta quando qualcuno vi cammina dentro. Nelle cortecce cerebrali che ricevono con continuità quei segnali, il quadro dell'attività neurale è in continuo mutamento: non vi è nulla di statico, nessuna base fissa, nessun omuncolo assiso come una statuina in cima al cervello a ricevere segnali dalle varie parti del corpo; vi è invece cambiamento, cambiamento incessante. Alcuni degli schemi sono organizzati topograficamente, altri lo sono meno, e non si trovano in un'unica mappa, in un unico centro. E vi sono molte mappe, coordinate da connessioni di neuroni mutuamente interagenti. (Quale che sia la metafora cui si ricorre per illustrare questo aspetto, è importante rendersi conto che le rappresentazioni corporee *presenti* non hanno luogo entro una mappa corticale rigida, come decenni di raffigurazioni del cervello umano hanno ingannevolmente suggerito; esse appaiono come una rappresentazione « in linea », dinamica e ogni volta nuova, di quel che sta accadendo nel corpo. Il loro valore risiede in tale freschezza e « contemporaneità », messe bene in luce nello studio prima citato di Michael Merzenich).

Oltre al « viaggio neurale » del vostro stato emoti-

vo all'indietro verso il cervello, l'organismo ha seguìto anche un parallelo « viaggio chimico ». Ormoni e peptidi liberati nel corpo durante l'emozione possono raggiungere il cervello seguendo il flusso sanguigno e penetrarvi attivamente attraverso la cosiddetta barriera sangue-cervello oppure, con più facilità, attraverso regioni cerebrali in cui tale barriera manca (ad esempio l'area postrema) o dotate di dispositivi che mandano segnali a varie parti del cervello (ad esempio l'organo sottofornicale). E non solo il cervello può costruire, in alcuni dei suoi sistemi, una molteplice veduta neurale del paesaggio del corpo indotto da altri sistemi cerebrali, ma la stessa costruzione di tale veduta, e il suo uso, possono essere influenzati dal corpo in via diretta (si pensi a quel che si è detto nel cap. 6 riguardo all'ossitocina). Quello che dà al paesaggio del corpo il suo carattere, in un dato istante, non è solo un insieme di segnali neurali, ma anche un insieme di segnali chimici che modificano il modo in cui i segnali neurali vengono elaborati. Si consideri questa come *la* ragione per la quale certe sostanze chimiche hanno avuto un ruolo così significativo in tante culture; e si consideri anche che l'odierno problema sociale delle droghe (mi riferisco sia a quelle legali sia a quelle illegali) non può essere risolto senza comprendere a fondo i meccanismi neurali di cui stiamo discutendo.

Via via che i cambiamenti corporei si verificano, riuscite a conoscerne l'esistenza e potete seguirne la continua evoluzione: percepite i cambiamenti dello stato del corpo e ne seguite il procedere mentre scorrono i secondi e i minuti. Questo processo di osservazione continua, questa esperienza di ciò che il vostro corpo sta facendo *mentre* corrono i pensieri riguardanti specifici contenuti, è l'essenza di quello che io chiamo sentimento (fig. 7.5). Se un'emozione è un insieme di cambiamenti dello stato corporeo connessi a particolari immagini mentali che hanno

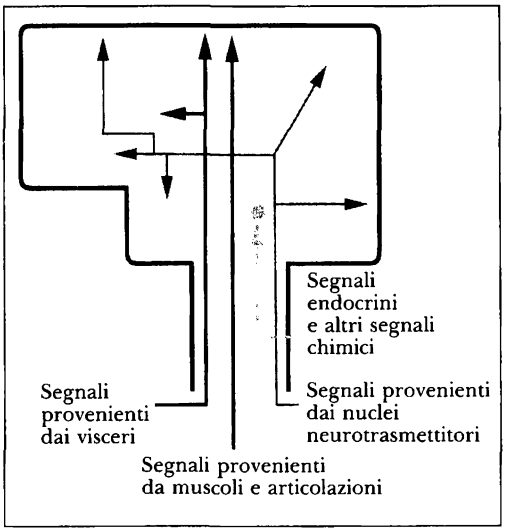

Fig. 7.5 Per sentire un'emozione è necessario ma non sufficiente che i segnali neurali provenienti dai visceri, dai muscoli e dalle articolazioni e dai nuclei neurotrasmettitori (tutti attivati durante il processo dell'emozione) raggiungano certi nuclei subcorticali e la corteccia cerebrale. Anche i segnali endocrini e altri segnali chimici giungono al sistema nervoso centrale seguendo il flusso sanguigno – fra le altre vie.

attivato uno specifico sistema cerebrale, *l'essenza del sentire un'emozione è l'esperienza di tali cambiamenti in giustapposizione alle immagini mentali che hanno dato avvio al ciclo.* In altre parole, un sentimento dipende dalla giustapposizione di un'immagine del corpo all'immagine di qualcosa d'altro, come ad esempio l'immagine visiva di un volto o l'immagine uditiva di una melodia. Il substrato di un sentimento è completato dai cambiamenti dei processi cognitivi che sono simultaneamente indotti da sostanze neurochimiche (per esempio da neurotrasmettitori in svariati siti neurali, come risultato dell'attivazione

di nuclei trasmettitori che era parte dell'iniziale risposta emotiva).*

Qui occorre fare due precisazioni. La prima riguarda il termine « giustapposizione » introdotto più sopra: io l'ho scelto perché ritengo che l'immagine del corpo compaia *dopo* che l'immagine del « qualcos'altro » è stata formata e mantenuta attiva, e perché le due immagini rimangono neuralmente separate (come ho suggerito nel paragrafo sulle immagini del cap. 5). In altre parole, si ha una combinazione piuttosto che una mistura, e potrebbe essere appropriato usare il termine *sovrapposizione* per indicare ciò che sembra accadere alle immagini del corpo e al « qualcosa d'altro » nella nostra esperienza integrata.

L'idea che il « caratterizzato » (un volto) e il « caratterizzante » (lo stato corporeo giustapposto) siano combinati, ma non fusi, aiuta a spiegare perché è possibile sentirsi depressi anche quando si pensa a persone o situazioni che non significano in alcun modo tristezza o perdita, o sentirsi di buon umore senza alcuna ragione immediata che lo spieghi. Gli stati caratterizzanti possono essere inattesi, e qualche volta sgraditi; la loro motivazione psicologica può essere non visibile o inesistente, scaturendo il processo in un cambiamento fisiologico che è psicologicamente neutro. In termini neurobiologici, i caratterizzanti inesplicabili affermano la relativa autonomia dell'apparato neurale che agisce dietro le emozioni; ma essi ci ricordano anche che esiste un ampio dominio di processi non consci, in parte riconducibili a una spiegazione psicologica ma in parte no.

* Le definizioni di «emozione» e di «sentimento» qui esposte non sono ortodosse. Altri autori spesso impiegano indifferentemente i due termini, oppure il termine «sentimento» non viene impiegato affatto e il termine «emozione» viene suddiviso in componenti espressivi e componenti di cui si ha esperienza. Suggerire nomi distinti potrebbe contribuire a un'ulteriore analisi di questi fenomeni.

L'essenza della tristezza o della felicità è la percezione di certi stati del corpo combinata con quella dei pensieri – quali che siano – a cui essi sono giustapposti, e integrata da una modificazione – in modi e in efficienza – del processo di pensiero. In genere, poiché sia il segnale dello stato corporeo (positivo o negativo) sia la modalità e l'efficienza della cognizione sono stati innescati dallo stesso sistema, essi tendono a concordare. (Però la concordanza tra segnale dello stato corporeo e modalità cognitiva può essere infranta, sia negli stati normali sia in quelli patologici). Con gli stati corporei negativi, la generazione di immagini è lenta, esse differiscono poco e il ragionamento è inefficiente; con gli stati positivi, la generazione di immagini è rapida, esse sono molto differenziate e il ragionamento può essere veloce – anche se non necessariamente efficiente. Quando gli stati corporei negativi si ripetono spesso, o nel caso di un forte stato negativo, come accade nella depressione, aumenta la quota di pensieri che è probabile siano associati a situazioni negative, e il modo e l'efficienza del ragionamento ne soffrono. La prolungata esaltazione propria degli stati maniacali produce l'effetto opposto. William Styron, in *Un'oscurità trasparente*, rievoca la propria depressione scrivendo che l'essenza di tale stato era un tormentoso senso di dolore « intimamente apparentato al soffocamento, all'essere sommersi – ma anche queste immagini non colgono il segno », e bene descrive lo stato concomitante dei suoi processi cognitivi: « In tali occasioni il pensiero razionale di solito non c'era, nella mia mente; da qui *trance*. Non riesco a pensare altro termine più adatto a tale modo di essere, una condizione di stupore indifeso nella quale la cognizione era rimpiazzata da quella "angoscia positiva e attiva" » (quest'ultima definizione era stata usata da William James per descrivere la propria, di depressione).

Seconda precisazione: ho detto quali possono es-

sere, secondo me, i costituenti essenziali di un sentimento dal punto di vista cognitivo e neurale, e solo ulteriori indagini chiariranno se sono nel giusto. Io non ho spiegato, però, *come* noi sentiamo un sentimento. Il punto di partenza necessario è ricevere un ampio insieme di segnali sullo stato corporeo nelle opportune regioni cerebrali; ma ciò non è sufficiente. Come ho suggerito parlando delle immagini, per l'esperienza del sentimento è anche necessaria una correlazione della rappresentazione in atto del corpo con le rappresentazioni neurali che costituiscono il sé. Un sentimento relativo a un oggetto particolare si basa sulla soggettività della percezione dell'oggetto, della percezione dello stato corporeo che essa produce e della percezione dei mutamenti di modalità ed efficienza dei processi di pensiero che vi si accompagnano.

Ingannare il cervello

Quali prove confortano l'affermazione secondo cui gli stati corporei causano i sentimenti? Alcune indicazioni ci vengono dagli studi di neuropsicologia che correlano la perdita di sentimento con lesioni delle regioni cerebrali necessarie per rappresentare gli stati corporei (si veda il cap. 5); ma depongono in questo senso anche alcuni studi compiuti su soggetti normali, e in particolare le ricerche di Paul Ekman.[14] Quando egli istruì alcuni soggetti sperimentali normali a muovere i muscoli facciali in un certo modo, così « componendo » sui loro volti un'espressione emotiva specifica senza che i soggetti conoscessero il suo intento, il risultato fu che i soggetti provarono un sentimento appropriato all'espressione. Per esempio, un'espressione felice del volto – pur rozzamente e approssimativamente formata – portò i soggetti a provare

« felicità », un'espressione irata a provare « ira », e così via. Ciò non può non colpire, specie se si considera che quei soggetti potevano percepire pose del volto solo frammentarie, abbozzate, e che i loro corpi non esibivano, all'inizio, il profilo viscerale che accompagna una certa emozione, dal momento che essi non percepivano né apprezzavano una situazione reale capace di suscitare un'emozione.

L'esperimento di Ekman suggerisce che o un frammento del quadro corporeo caratteristico di un certo stato emotivo è sufficiente a produrre un sentimento del medesimo segnale, o che quel frammento in seguito innesca il resto dello stato corporeo, e ciò conduce al sentimento. È curioso notare che non tutte le parti del cervello sono per così dire ingannate da un insieme di movimenti che non è prodotto attraverso le vie solite. Registrazioni elettrofisiologiche mostrano ora che un sorriso simulato genera onde cerebrali con andamento diverso rispetto a quello delle onde generate da un sorriso autentico.[15] A prima vista può sembrare che le scoperte dell'elettrofisiologia contraddicano i risultati dell'esperimento citato prima, ma non è così: anche se riferivano il sentimento appropriato al frammento di espressione del volto, quei soggetti erano ben consapevoli di non essere felici – o adirati – per un qualsiasi motivo reale. Non possiamo ingannare noi stessi più di quanto riusciamo a ingannare gli altri, quando sorridiamo garbatamente, e a questo sembra riferirsi così puntualmente la registrazione elettrica. Può darsi che sia questa l'ottima ragione per la quale i grandi attori, i grandi cantanti d'opera e anche altri soggetti riescono a reggere alla simulazione delle emozioni esaltate che devono imporsi, senza perdere il controllo.

Ho chiesto una volta a Regina Resnik, che

oggi è la più memorabile interprete lirica di Carmen e di Clitennestra, nonché una veterana di migliaia di serate di ira e follia musicali, quanto le riuscisse difficile mantenersi distaccata dalle travolgenti emozioni del suoi personaggi. Per nulla difficile, mi rispose la Resnik, una volta che ebbe appreso i segreti della sua tecnica. Vedendola sul palcoscenico, o sentendola cantare, nessuno avrebbe potuto indovinare che stava solo « rappresentando » un'emozione con il corpo, non « sentendola ». Aggiunge però la Resnik che una volta, durante un'esecuzione della *Dama di picche* di Čajkovskij, da sola nella cupa scena che vede la morte per spavento della vecchia contessa, divenne tutt'uno con il suo personaggio, e fu terrorizzata.

Varietà di sentimenti

Si è già detto, all'inizio del capitolo, che vi sono molte varietà di sentimenti. La prima varietà si basa sulle emozioni (le più universali sono felicità, tristezza, ira, paura e ripugnanza) e corrisponde a profili di risposta dello stato corporeo che sono ampiamente preorganizzati, nel senso di James. Quando il corpo si conforma a una di tali emozioni, noi *ci sentiamo* felici, tristi, adirati, impauriti, disgustati. Quando proviamo sentimenti connessi con emozioni, l'attenzione è sostanzialmente rivolta ai segnali corporei, e parti del paesaggio corporeo muovono dallo sfondo per venire in primo piano, nella nostra attenzione.

Una seconda varietà di sentimenti è basata su emozioni che sono sottili varianti delle cinque menzionate prima: euforia ed estasi sono varianti della felicità; malinconia e insoddisfazione sono varianti della tristezza; panico e timidezza sono varianti della paura. Tale seconda varietà di sentimenti è rego-

lata dall'esperienza, quando lievi sfumature di stato cognitivo si connettono con lievi variazioni di stato emotivo del corpo. È il collegamento tra un contenuto cognitivo intricato e una variazione di un profilo di stato corporeo preorganizzato che ci consente di provare le gradazioni del rimorso, dell'imbarazzo, della *Schadenfreude*, della rivendicazione, ecc.[16]

SENTIMENTI DI FONDO

A mio giudizio vi è però una varietà di sentimento che ha preceduto le altre nell'evoluzione: quello che io chiamo *sentimento di fondo*, perché ha origine da stati corporei « di fondo » anziché da stati emotivi. Non è il Verdi delle grandi passioni né lo Stravinskij dell'emozione intellettualizzata, ma piuttosto un minimalista per toni e ritmo, il sentimento della vita stessa, il senso di essere. Io spero che questa nozione possa essere utile, nelle future analisi della fisiologia dei sentimenti.

I sentimenti di fondo presentano una gamma più ristretta dei sentimenti emotivi descritti più sopra, e non sono né troppo positivi né troppo negativi, anche se possono essere percepiti come estremamente piacevoli o spiacevoli. Sono questi, con tutta probabilità, e non quelli emotivi, i sentimenti di cui facciamo più frequente esperienza nel corso della vita. Di un sentimento di fondo abbiamo solo una sottile consapevolezza; quanto basta, comunque, per essere in grado di riferire istantaneamente sulla sua qualità.

Varietà di sentimenti

Sentimenti di emozioni universali di base
Sentimenti di emozioni universali sottili
Sentimenti di fondo

Non è quello che proviamo quando una gioia autentica non ci fa stare più nella pelle, o quando siamo abbattuti per la perdita di un amore: entrambe queste azioni corrispondono a stati emotivi del corpo. Un sentimento di fondo, invece, corrisponde allo stato corporeo che prevale *tra* le emozioni. Quando sentiamo felicità, rabbia o un'altra emozione, il sentimento di fondo è stato rimpiazzato da un sentimento emotivo. Il sentimento di fondo è la nostra immagine del paesaggio corporeo quando questo non è agitato da emozioni, e non è il concetto di « umore » (*mood*) che può renderlo con precisione, anche se ad esso è collegato. Quando i sentimenti di fondo rimangono dello stesso tipo per ore e giorni, e non cambiano con il flusso e il riflusso dei contenuti del pensiero, allora l'insieme dei sentimenti di fondo probabilmente contribuisce al formarsi di un umore: buono, cattivo, indifferente.

Basta provare a immaginare come si starebbe *senza* sentimenti di fondo perché cada ogni dubbio sulla nozione così introdotta. Io affermo che senza quei sentimenti il nucleo stesso della rappresentazione del sé sarebbe infranto. Provo ora ad argomentare la mia affermazione.

Come ho indicato, le rappresentazioni degli stati corporei presenti avvengono in molteplici cortecce somatosensitive dell'insula e delle regioni parietali, e anche nel sistema limbico, nell'ipotalamo e nel midollo allungato. Sia nell'emisfero destro sia in quello sinistro, queste regioni sono coordinate da connessioni di neuroni, con l'emisfero destro che prevale sul sinistro. C'è ancora molto da scoprire sui modi precisi delle connessioni in tale sistema (purtroppo questo è uno dei settori in cui lo studio del cervello dei Primati mostra maggiori lacune), ma sembra chiaro quanto segue: su un ampio numero di strutture in posizioni sia corticali sia subcorticali si distribuisce una rappresentazione composita, si-

multanea, degli stati corporei in atto. Una quota significativa dell'input proveniente dallo stato dei visceri va a terminare in strutture che si potrebbero definire « prive di proiezione in mappe », anche se moltissimi input dei visceri sono proiettati almeno quanto basta per consentirci di scoprire dolore o malessere in aree identificabili del tronco o degli arti. È certamente vero che le mappe che formiamo per i visceri sono meno precise di quelle che formiamo per il mondo esterno; ma l'asserita vaghezza e gli esempi di errore di proiezione sono stati molto esagerati, per lo più invocando fenomeni quali il « dolore riferito » (ad esempio, provare dolore all'addome o al braccio sinistro durante un infarto miocardico, o dolore sotto la scapola destra quando la cistifellea è infiammata). Quanto all'input proveniente da muscoli e articolazioni, esso va a finire in strutture topograficamente proiettate su mappe.

Oltre alle mappe dinamiche, « in linea », del corpo, ve ne sono altre, in certo modo più stabili, della struttura generale del corpo, che probabilmente rappresentano propriocezione (senso dei muscoli e delle articolazioni) e interocezione (senso dei visceri) e che costituiscono la base della nostra nozione di immagine del corpo. Tali rappresentazioni sono « fuori linea », o disposizionali, ma possono essere attivate nelle cortecce somatosensitive topograficamente organizzate, fianco a fianco con la rappresentazione in linea degli stati corporei *presenti*, per dare un'idea di quel che il nostro corpo *tende a essere*, anziché di quel che è al momento. Il già menzionato fenomeno dell'arto fantasma offre la prova migliore di questo tipo di rappresentazione. Dopo avere subìto un'amputazione chirurgica, alcuni pazienti immaginano che l'arto mancante sia ancora al suo posto, e sono perfino capaci di percepire modificazioni immaginarie dello stato dell'arto che non c'è: un movimento particolare, dolore, caldo o freddo, ecc. Io lo spiego così: in assenza di input in

linea proveniente dall'arto mancante, prevale l'input in linea proveniente da una rappresentazione disposizionale di tale arto: cioè la ricostruzione attraverso il processo di richiamo di un ricordo acquisito in precedenza.

Forse coloro i quali credono che, in condizioni normali, assai poco dello stato corporeo si presenti alla coscienza vorranno ripensarci. È vero che noi non siamo in ogni momento consapevoli di ogni parte del nostro corpo, poiché le rappresentazioni di eventi esterni (attraverso la vista, l'udito, il tatto), come pure di immagini generate internamente, riescono a distrarci dalla rappresentazione continua, e continuamente in corso, del corpo. Ma il fatto che il punto focale dell'attenzione sia solitamente altrove – là dove più è necessaria per un comportamento adattativo – non significa che la rappresentazione del corpo sia assente; ed è facile averne conferma, quando l'improvviso insorgere di dolore o di un piccolo disturbo torna a focalizzare su di essa l'attenzione. Il senso del corpo è, di fondo, continuamente presente, anche se si può non accorgersene, dal momento che esso rappresenta non una parte specifica di qualcosa del corpo, ma piuttosto uno stato complessivo di quasi tutto ciò che vi è in esso. Tale inarrestabile rappresentazione sempre in corso dello stato corporeo è quella che vi consente di reagire prontamente alla specifica domanda: « Come *si sente?* » con una risposta che in effetti fa riferimento al vostro sentirvi più o meno bene. (Si noti che la domanda non è il semplice « Come va? », alla quale si può sbrigativamente rispondere in modo garbato senza dire alcunché sul proprio stato fisico). Lo stato di fondo del corpo è sotto osservazione continua; perciò è interessante chiedersi che cosa accadrebbe se all'improvviso scomparisse; se, interrogati su come vi sentite, scopriste di non sapere alcunché riguardo a tale stato; se, quando vi duole una gamba e la muovete, deliberatamente, il mo-

mentaneo fastidio fosse un percetto isolato, che fluttua nella vostra mente, invece di essere parte del senso di un corpo alla cui interezza vi è facile accedere. Si è ormai accertato che anche l'assai più semplice e relativamente circoscritta interruzione della propriocezione, che può essere causata da un disturbo dei nervi periferici, crea un profondo sconvolgimento dei processi mentali (Oliver Sacks ha scritto una bella descrizione evocativa di un caso del genere).[17] Ci si potrebbe aspettare, allora, che una più estesa perdita o modificazione del senso complessivo dello stato corporeo producesse un disturbo anche più grave; ed è quello che accade.

Come si è visto nel capitolo 4, alcuni pazienti affetti da anosognosia prototipa completa diventano inconsapevoli della propria condizione generale di salute. Non sanno di mostrare su di sé gli esiti invariabilmente devastanti di una infermità grave: molto spesso un colpo apoplettico, oppure un tumore cerebrale, insorto nel cervello o provocato da un cancro che abbia colpito altre parti del corpo. Non riconoscono di essere paralizzati, anche se, ad esempio, posti di fronte al fatto che il loro arto sinistro non si muove, costretti a vederlo, non potranno non dirsi d'accordo. Non riescono a immaginare le conseguenze della propria condizione e non sono preoccupati per il futuro. La loro rappresentazione emotiva è ridotta o inesistente, e in corrispondenza i loro sentimenti – per loro stessa ammissione e per deduzione di un osservatore – sono piatti.

In tali pazienti anosognosici, il quadro del danno cerebrale si configura nella distruzione dello scambio di segnali tra le regioni implicate nella produzione di mappe dello stato corporeo, sovente anche nella distruzione di alcune di queste regioni, che si trovano tutte nell'emisfero destro, anche se ricevono input sia dal lato destro sia dal lato sinistro del corpo. Le regioni cruciali si trovano nell'insula, nel lobo parietale e nella sostanza bianca che contiene

connessioni tra esse e inoltre connessioni da e verso il talamo, da e verso la corteccia frontale, verso i gangli basali.

Facendo ricorso alla nozione di sentimento di fondo, sono ora in grado di indicare che cosa penso che accada nell'anosognosia. Impossibilitato a valersi di input corporei attuali, il paziente non riesce ad aggiornare la rappresentazione del proprio corpo e quindi non riesce a rendersi conto, prontamente e in modo automatico, che la realtà del suo paesaggio corporeo è cambiata. Nella mente egli può ancora formarsi un'immagine di come era il suo corpo – immagine che ora è superata, non vale più – e siccome il suo corpo era sano, questo è ciò che egli riesce a riferire.

I pazienti che presentano la condizione dell'arto fantasma possono riferire che sentono l'arto mancante come se ci fosse ancora, anche se si rendono conto che ciò non è vero. Non si tratta di delirio, né di allucinazione; piuttosto, è il loro senso della realtà che li porta a dolersi del loro stato menomato. Ma gli anosognosici non hanno alcun controllo automatico della realtà: o perché la condizione implica informazioni sulla maggior parte del corpo anziché su una regione soltanto, o perché essa implica informazioni per lo più provenienti dai visceri, o per entrambi i motivi, essi sono diversi. La mancanza di segnali corporei aggiornati non solo fa sì che essi riferiscano in modo irrazionale sui propri deficit motori, ma porta anche a emozioni e sentimenti inadeguati al loro stato di salute. Alcuni di questi pazienti sono allegri senza motivo, altri sono perennemente astiosi; ma né gli uni né gli altri sembrano preoccuparsi del proprio stato, e quando sono costretti a ragionarvi su, in base a fatti nuovi che vengono presentati loro attraverso altri canali (verbalmente o per constatazione visiva diretta), sul momento riconoscono la situazione nuova in cui si trovano, ma presto se ne dimenticano. Ciò che non arriva in mo-

do automatico e naturale attraverso la supremazia dei sentimenti non può conservarsi nella mente.

Questi pazienti ci fanno intravedere una mente privata della possibilità di sentire lo stato *presente* del corpo, specie per quanto riguarda il sentimento di fondo. Io credo che il loro sé, incapace di riportare i segnali corporei dello stato presente sul quadro di riferimento del corpo, non sia più integro. È ancora disponibile e immagazzinabile in forma linguistica la conoscenza della propria identità personale: essi ricordano chi sono, dove vivono, dove hanno lavorato, chi sono le persone che li circondano. Ma tale ricchezza di informazione non può essere usata per ragionare in modo efficace sul loro presente stato personale e sociale. La teoria che essi si costruiscono della propria mente e della mente degli altri è misera, in modo irrimediabile superata, non al passo con il tempo storico nel quale essi e i loro osservatori sono immersi.

La continuità dei sentimenti di fondo si attaglia bene al fatto che l'organismo vivente e la sua struttura sono continui, finché la vita persiste. A differenza dell'ambiente, la cui composizione di sicuro cambia, e a differenza delle immagini che costruiamo di tale ambiente, che sono frammentarie e condizionate da circostanze esterne, il sentimento di fondo riguarda per lo più gli stati corporei. La nostra identità individuale è ancorata a quest'isola di illusoria identicità vivente, e sullo sfondo di questa noi possiamo essere consapevoli di miriadi di altre cose che manifestamente cambiano, attorno all'organismo.

Il corpo come teatro delle emozioni

Una delle critiche mosse a William James riguarda l'idea che noi usiamo sempre il corpo come teatro delle emozioni. Anch'io credo che in molti casi

emozioni e sentimenti siano fatti operare proprio in questo modo, a partire dalla mente/cervello verso il corpo e poi indietro alla mente/cervello; ma credo anche che in molti casi il cervello impari a mettere insieme la fievole immagine di uno stato « emotivo » del corpo, senza doverla ripromulgare nel corpo. Inoltre, come si è già discusso, l'attivazione dei nuclei neurotrasmettitori del midollo allungato e le risposte di questi aggirano il corpo, anche se, molto curiosamente, i nuclei neurotrasmettitori sono parte integrante della rappresentazione cerebrale della regolazione corporea. Vi sono, quindi, dispositivi neurali che ci aiutano a sentirci « come se » stessimo provando uno stato emotivo, come se il corpo venisse attivato e modificato; essi ci consentono di aggirare il corpo e di evitare un processo lento ed energeticamente dispendioso. Noi rievochiamo entro il solo cervello qualche apparenza di un sentimento; dubito, però, che tali sentimenti si avvertano allo stesso modo dei sentimenti coniati di fresco in un vero stato corporeo.

I dispositivi « come se » sarebbero stati sviluppati mentre crescevamo e ci adattavamo all'ambiente; l'associazione tra una certa immagine mentale e il surrogato di uno stato corporeo sarebbe stata acquisita attraverso ripetute associazioni delle immagini di entità o situazioni date con le immagini di stati corporei appena rappresentati. Perché una particolare immagine accenda il « dispositivo di bypass », è stato necessario che prima il processo si svolgesse nel teatro del corpo, che – per così dire – si chiudesse il circuito nel corpo (fig. 7.6).

Perché i sentimenti « come se » dovrebbero avvertirsi come differenti? Indico con un esempio almeno una ragione che mi porta a pensarlo. Immaginate la situazione di una persona normale collegata a un poligrafo (l'apparecchio di laboratorio che consente di rilevare e visualizzare in grafici la forma e l'ampiezza delle reazioni emotive). Ora immaginate

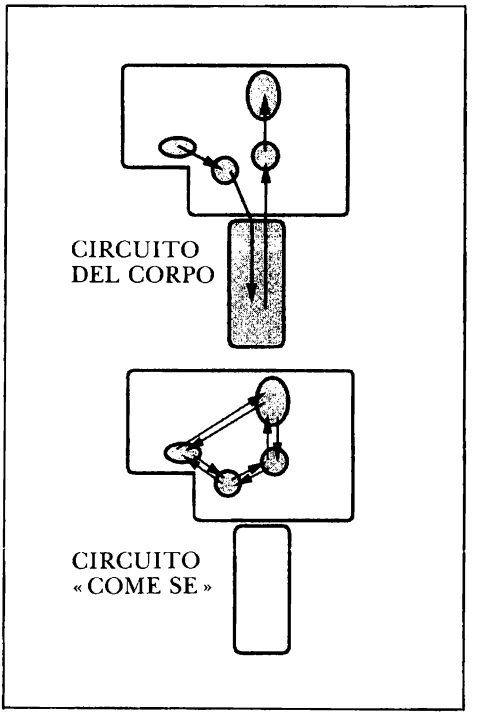

Fig. 7.6 Il circuito del corpo e il circuito « come se ». In entrambi il cervello è rappresentato dal contorno in alto, e il corpo dal contorno in basso. Nel circuito « come se », l'elaborazione esclude completamente il corpo.

che questa persona partecipi a un esperimento di psicologia durante il quale l'esaminatore può giudicare alcune sue risposte corrette, quindi meritevoli di qualche sorta di ricompensa, oppure scorrette e quindi meritevoli di punizione. Subito dopo essere stato informato che una certa mossa da lui compiuta nell'esperimento è corretta e viene premiata, il soggetto genera una risposta che si presenta come una curva con un suo andamento di crescita e una sua ampiezza massima. Più tardi, un'altra mossa del

soggetto porta a una punizione, e di nuovo viene generata una risposta; questa volta la forma della curva è del tutto diversa, e raggiunge un massimo più elevato che nel caso precedente. Poi un'altra mossa provoca una punizione più forte, e questa volta non solo la curva di risposta è ancora differente, ma addirittura la punta scrivente dello strumento sbanda sulla carta di registrazione e quasi ne salta fuori.

Che cosa ciò significhi è ben noto: premi o punizioni di entità diversa causano reazioni diverse, sia mentali sia corporee, e l'apparecchio registra la reazione corporea. Non vi è accordo, però, sulla relazione tra reazione del corpo e reazione della mente. Dal mio punto di vista, il sentimento regolare proviene da una lettura e presentazione dei cambiamenti corporei. Bisogna considerare, però, un punto di vista alternativo, secondo il quale il corpo è sì modificato dalla reazione emotiva, ma il sentimento non proviene di necessità da tale cambiamento: lo stesso agente cerebrale che avvia i cambiamenti corporei informa un altro sito del cervello (presumibilmente il sistema somatosensitivo) del tipo di cambiamento ordinato dal corpo. In questa ipotesi, i sentimenti proverrebbero direttamente dal secondo tipo di segnali, che così sarebbero elaborati esclusivamente dall'interno del cervello, pur in presenza, ancora, di concomitanti modificazioni del corpo. Il punto, per i fautori di tale prospettiva, è che i cambiamenti corporei avvengono in parallelo con i sentimenti, anziché esserne la causa. I sentimenti proverrebbero sempre dal dispositivo con il circuito «come se», che però non costituirebbe un'aggiunta al dispositivo di base del «circuito corporeo», ma sarebbe piuttosto il meccanismo essenziale del sentimento.

Questa interpretazione mi sembra meno soddisfacente della mia. Intanto, un'emozione non viene indotta soltanto per via neurale: c'è anche la via chi-

mica. Il settore del cervello che induce l'emozione può segnalare il componente neurale di tale azione a un altro settore al proprio interno, ma non è verosimile che manifesti allo stesso modo il componente chimico. Inoltre, non è verosimile che il cervello preveda in quale modo tutti i comandi – neurali e chimici, ma soprattutto questi ultimi – opereranno nel corpo, perché il loro operare e gli stati risultanti dipendono dal contesto biochimico locale e da numerose variabili entro il corpo stesso che non hanno completa rappresentazione neurale. Quel che viene eseguito nel corpo è costruito *ex novo*, momento per momento, e non è una replica esatta di qualcos'altro accaduto in precedenza. Secondo me il cervello non può prevedere in modo algoritmico gli stati corporei; esso, piuttosto, attende che il corpo riferisca ciò che in realtà è trapelato.

L'interpretazione alternativa sarebbe limitata, volta per volta, a un repertorio fisso di schemi emozione/sentimento, non modulati dalle condizioni reali (della vita reale, del tempo reale) dell'organismo in un dato momento. Questi schemi potrebbero essere utili se a quel repertorio si riducesse ciò che dobbiamo fare; e però sarebbero ancora « ritrasmissioni » piuttosto che « esecuzioni in diretta ».

Probabilmente il cervello, dopo avere riversato sul corpo un fuoco di fila di segnali neurali e chimici, non può prevedere le configurazioni esatte che esso assumerà – non più di quanto possa prevedere tutti i fattori imponderabili di una data situazione via via che questa si dispiega nella vita reale e in tempo reale. Vuoi per uno stato emotivo vuoi per uno stato di fondo non emotivo, il paesaggio del corpo è sempre nuovo e quasi mai stereotipato. Se tutti i nostri sentimenti fossero del tipo « come se », non avremmo alcuna nozione della sempre cangiante modulazione dell'affetto che è un tratto così tipico della nostra mente. L'anosognosia suggerisce che la mente normale richieda un flusso regolare di informazioni ag-

giornate provenienti dagli stati corporei. Può darsi che, per come è modellato, al cervello occorra una conferma della nostra condizione di vita per provvedere a mantenersi sveglio e consapevole.

Por mente al corpo

Non sembra sensato lasciare emozioni e sentimenti fuori da ogni concetto globale di mente; eppure, è proprio quello che fanno molte rispettabili descrizioni scientifiche della cognizione, quando considerano i sistemi cognitivi senza includervi emozioni e sentimenti, che sono giudicati entità sfuggenti, inadatte a condividere la scena con il tangibile contenuto dei pensieri – che essi peraltro caratterizzano. Questa visione angusta, che esclude l'emozione dal corso principale della scienza cognitiva (come ho già ricordato nell'Introduzione), ha il proprio contraltare nella non meno tradizionale visione delle neuroscienze (richiamata agli inizi di questo capitolo), secondo la quale emozioni e sentimenti scaturiscono dai piani bassi del cervello, in un processo che più subcorticale non potrebbe essere, mentre ciò che quelle emozioni e quei sentimenti qualificano scaturisce dalla neocorteccia. Non posso essere d'accordo. Innanzitutto, è evidente che l'emozione procede sotto il controllo di strutture sia corticali sia subcorticali. In secondo luogo (e forse più importante), *i sentimenti sono altrettanto cognitivi quanto qualsiasi altra immagine percettiva*, e altrettanto dipendenti da elaborazioni della corteccia cerebrale.

Certo, essi sono qualcosa di un po' diverso. Ma ciò che li rende diversi è il fatto che essi riguardano in primo luogo il corpo, che essi *ci danno la cognizione del nostro stato muscoloscheletrico e viscerale* quando questo è influenzato dai meccanismi preorganizzati e dalle strutture cognitive che abbiamo sviluppato sotto la loro influenza. I sentimenti ci consentono di

porre mente al corpo – in modo attento, durante uno stato emotivo, o in modo più vago, durante uno stato di fondo. E ci consentono di farlo « in diretta », quando ci forniscono immagini percettive del corpo, o « in replica », quando ci forniscono immagini rievocate dello stato del corpo adeguato a certe circostanze, nei sentimenti « come se ».

Essi ci fanno intravedere che cosa accade nella nostra carne, allorché un'immagine momentanea di questa è affiancata alle immagini di altri oggetti e situazioni. Per giustapposizione, le immagini corporee conferiscono alle altre immagini una *qualità* – di buono o di cattivo, di piacere o di dolore.

Per me i sentimenti hanno uno status davvero privilegiato. Essi sono rappresentati a molti livelli neurali, incluso quello neocorticale, dove essi sono i corrispettivi neuroanatomici e neurofisiologici di tutto ciò che può essere colto dagli altri canali sensoriali. Però, a motivo dei loro inestricabili legami con il corpo, essi vengono prima, nello sviluppo, e serbano un primato che pervade la nostra vita mentale. Dal momento che il cervello è l'avvinto uditorio del corpo, i sentimenti risultano vincitori tra pari. Inoltre, dal momento che ciò che viene prima costituisce un quadro di riferimento per ciò che viene dopo, i sentimenti hanno voce in capitolo sul modo in cui il resto del cervello e la cognizione svolgono i propri compiti. La loro influenza è immensa.

Il processo del sentimento

Quali sono i processi neurali mediante i quali noi *sentiamo* uno stato emotivo, o uno stato di fondo? Con precisione non lo so; credo di avere un inizio di risposta, ma non sono sicuro del resto. La questione del come sentiamo si fonda sulla nostra comprensione della coscienza – che non è argomento di questo libro, e su cui è bene essere prudenti. Possia-

mo, però, porci il problema, e scartare le risposte che non possono funzionare, indicando dove si potrà, in futuro, trovare qualche spiraglio.

La risposta che chiama in gioco la neurochimica delle emozioni è falsamente soddisfacente: non basta avere scoperto le sostanze chimiche coinvolte per spiegare in qual modo sentiamo. Si sa da tempo che vi sono sostanze chimiche in grado di modificare emozioni e stati d'animo: alcool, narcotici e una schiera di agenti farmacologici possono cambiare il nostro modo di sentire. La ben nota relazione tra chimica e sentimenti ha preparato sia gli scienziati sia il pubblico alla scoperta che l'organismo produce sostanze chimiche capaci di provocare effetti simili. Così, oggi è largamente accettata l'idea che le endorfine siano la morfina del cervello e possano facilmente alterare il modo in cui ci sentiamo, il modo in cui sentiamo il dolore e anche il mondo esterno; lo stesso può dirsi per l'idea che effetti simili possano avere i neurotrasmettitori dopamina, norepinefrina e serotonina, come pure i neuromodulatori peptidici.

Attenzione, però: sapere che una data sostanza chimica (prodotta all'interno o all'esterno del corpo) provoca un certo sentimento non equivale a conoscere il meccanismo per cui ciò avviene. Sapere che una data sostanza agisce su certi sistemi, in certi circuiti e recettori e in certi neuroni, non spiega *perché* ci si sente felici o tristi. Si è stabilita una relazione funzionale tra la sostanza, i sistemi, i circuiti, i recettori, i neuroni e il sentimento, ma essa non ci dice come si passi dall'uno all'altro: è solo l'inizio di una spiegazione. Se sentirsi felici o tristi corrisponde in buona misura a un cambiamento della rappresentazione neurale degli stati corporei in atto, allora la spiegazione richiede che le sostanze chimiche agiscano sulle fonti di quelle rappresentazioni, cioè il corpo stesso e i vari livelli di circuiti neurali i cui schemi di attività rappresentano il corpo. Com-

prendere la neurobiologia del sentimento richiede necessariamente la comprensione del sentimento. Se sentirsi felici o tristi corrisponde anche, in parte, ai modi cognitivi secondo cui i pensieri stanno operando, allora la spiegazione richiede anche che la sostanza chimica agisca sui circuiti che generano e manipolano immagini: il che è come dire che ridurre la depressione a un enunciato sulla disponibilità di serotonina o di norepinefrina in generale (enunciato molto popolare, nei giorni e nell'epoca del Prozac) è intollerabilmente rozzo.

Un'altra risposta ingannevole, pur se appare soddisfacente, è quella che identifica il sentimento con la rappresentazione neurale di quello che accade nel paesaggio del corpo in un dato momento. Purtroppo ciò non basta: bisogna scoprire in quale modo le rappresentazioni del corpo, costantemente e appropriatamente modulate, divengono soggettive, in quale modo divengono parte del sé che le possiede. Come spiegare questo processo in termini neurobiologici, senza ricorrere alla comoda storiella dell'omuncolo che percepisce la rappresentazione?

Mi sembra necessario, quindi, oltre la rappresentazione neurale dello stato corporeo, postulare almeno due importanti componenti nei meccanismi neurali sottesi dal sentimento: il primo, che si presenta agli inizi del processo, è descritto più avanti; il secondo, che è tutt'altro che diretto, ha a che fare con il sé, e viene trattato nel capitolo 10.

Perché sia possibile sentire in un certo modo riguardo a una persona o ad un evento, occorre che il cervello abbia un mezzo per rappresentare il legame causale tra quella persona o evento e lo stato corporeo, meglio se in modo non equivoco: come dire che nessuno desidera collegare un'emozione – positiva o negativa – con la persona o con la cosa sbagliata. Ci accade spesso di fare collegamenti impropri, ad esempio quando associamo una persona, un oggetto o un luogo a un corso sfavorevole di

eventi; su questi legami infondati, che qualcuno cerca di evitare, si basa ad esempio la superstizione: un cappello sul letto porta sfortuna, e così pure un gatto nero che ci attraversi la strada; passare sotto una scala attira guai, ecc. Quando tale improprio accostamento di emozione (paura) e oggetto arriva a dominare, ne consegue un comportamento fobico. (Questo vale anche per il versante simmetrico, e non meno fastidioso, del comportamento fobico: quando si esagera nell'associare emozioni positive a persone, oggetti o luoghi, troppo spesso e in modo indiscriminato, si può arrivare a sentirsi più rilassati e bendisposti del giusto, e si può finire come Pollyanna).

Questo senso di un preciso legame causa-effetto può scaturire da attività in zone di convergenza che compiono una mediazione, in un verso e nell'altro, tra segnali corporei e segnali riguardanti l'entità che provoca l'emozione. Le zone di convergenza operano come un mediatore «terzo» usando le connessioni di retroazione e di *feedforward* con le sorgenti di input. Nella configurazione da me proposta gli attori sono: una rappresentazione esplicita dell'*entità causativa*; ancora una rappresentazione esplicita dello *stato corporeo presente*; una rappresentazione *in terza persona*. In altre parole: l'attività cerebrale che segnala una certa entità e in via transitoria forma una rappresentazione topograficamente organizzata nelle opportune cortecce sensitive di ordine inferiore; l'attività cerebrale che segnala cambiamenti dello stato corporeo e in via transitoria forma una rappresentazione topograficamente organizzata nelle cortecce somatosensitive di ordine inferiore; una rappresentazione, ubicata in una zona di convergenza, che riceve segnali da questi primi due siti di attività cerebrale mediante connessioni neurali di *feedforward*. Questa rappresentazione in terza persona tutela l'ordine di successione dell'attività cerebrale, e inoltre mantiene l'attività e il

fuoco dell'attenzione per mezzo di collegamenti di retroazione con gli altri due siti di attività cerebrale. I segnali scambiati fra i tre attori serrano l'insieme in un'attività relativamente sincrona, per un breve periodo. Con ogni probabilità, questo processo richiede strutture corticali e subcorticali, e precisamente quelle del talamo (fig. 7.7).

Emozione e sentimento, così, si fondano su due processi di base: 1) la visione di un certo stato corporeo affiancata alla serie di immagini valutative e innescanti che hanno provocato lo stato corporeo; 2) un particolare modo e livello di efficienza del processo cognitivo che accompagna gli eventi descritti al punto 1), ma viene fatto agire in parallelo.

Gli eventi descritti al punto 1) richiedono l'attuazione di uno stato corporeo o del suo surrogato all'interno del cervello. Ciò presuppone un dispositivo di avvio, l'esistenza di disposizioni acquisite, sulla base delle quali avverrà la valutazione, e l'esistenza di disposizioni innate capaci di attivare le risposte legate al corpo.

Gli eventi descritti al punto 2) sono innescati dal medesimo sistema di disposizioni che opera in 1), ma il bersaglio è l'insieme di nuclei del midollo allungato e del prosencefalo basale che risponde mediante emissione selettiva di neurotrasmettitori. Il risultato è un cambiamento della velocità alla quale si formano, vengono scartate, seguite, evocate le immagini, e un cambiamento dei modi del ragionamento compiuto su quelle immagini. Ad esempio, il modo cognitivo che accompagna un sentimento di euforia consente la rapida produzione di immagini multiple, cosicché il processo associativo è più ricco e si operano associazioni con una più ampia varietà di spunti offerti dalle immagini esaminate. Le immagini non vengono seguite a lungo; la ricchezza conseguente stimola una facilità di inferenza che può portare a includere troppo. Al modo cognitivo

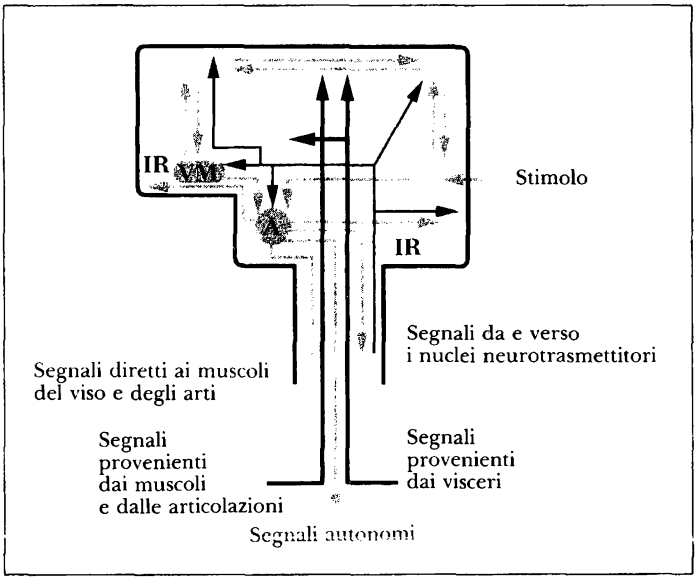

Fig. 7.7 Qui sono stati fusi i diagrammi di fig. 7.1, fig. 7.2 e fig. 7.5 per mostrare i principali percorsi, legati al corpo o legati al cervello, dei segnali neurali implicati nell'emozione e nel sentimento. Si noti che, per chiarezza, si sono tralasciati i segnali endocrini e gli altri segnali chimici; inoltre (come nelle figure precedenti) si sono tralasciati anche i gangli basali.

si accompagna un'esaltazione dell'efficienza motoria e anche disinibizione, come pure un'accentuazione del comportamento appetitivo ed esploratorio; è un modo cognitivo che giunge all'estremo negli stati maniacali. Al contrario, il modo cognitivo che accompagna la tristezza si caratterizza per la lenta evocazione di immagini, l'esiguità di associazioni in risposta a un minor numero di spunti, inferenze più anguste e meno efficienti, eccesso di concentrazione sulle stesse immagini – di solito quelle che preservano la risposta emotiva negativa. A tale

stato cognitivo si accompagna inibizione motoria, e in generale una riduzione del comportamento appetitivo ed esploratorio. Il punto estremo di questo modo cognitivo si riscontra nella depressione.[18]

Io non vedo le emozioni e i sentimenti come quelle essenze vaporose e intangibili che molti presumono. Il loro oggetto è concreto, ed è possibile correlarli a specifici sistemi del corpo e del cervello, non meno della parola o della visione. E neppure è vero che i sistemi cerebrali responsabili di emozioni e sentimenti siano confinati al settore subcorticale. Il nucleo del cervello e la corteccia cerebrale cooperano alla costruzione di emozioni e sentimenti non meno che per la visione: noi non vediamo con la corteccia cerebrale soltanto, ed è probabile che la visione cominci nel midollo allungato, in strutture quali i collicoli.

Concludendo, è importante rendersi conto che l'aver definito concreti – dal punto di vista sia cognitivo sia neurale – l'emozione e il sentimento non ne riduce l'amabilità o l'orrore, né immiserisce il loro status nella poesia o nella musica. Comprendere in qual modo si vede o si parla non degrada ciò che viene visto o detto, ciò che viene dipinto o calato in un intreccio teatrale. Comprendere i meccanismi biologici sottesi da emozioni e sentimenti è perfettamente compatibile con una prospettiva autentica del loro valore per gli esseri umani.

8
L'IPOTESI DEL MARCATORE SOMATICO

Ragionamento e decisione

« Noi non pensiamo quindi affatto al presente; e se ci pensiamo, è solo per prendere lumi per predisporre l'avvenire ».[1] Queste sono parole di Pascal, ed è facile vedere quanta percezione egli avesse della virtuale non esistenza del presente, essendo noi rosi dall'abitudine di usare il passato per pianificare ciò che verrà poi, tra un momento o in un futuro lontano. Ragionamento e decisione riguardano tale incessante, onnicomprensivo processo di creazione; questo capitolo riguarda una frazione delle sue possibili basi neurobiologiche.

Può essere corretto affermare che lo scopo del ragionare è decidere, e che l'essenza del decidere è scegliere una possibile risposta, cioè un'azione non verbale, una parola, una frase – o una loro combinazione – tra le molte disponibili al momento e in rapporto con una situazione data. Ragionamento e decisione sono così intrecciati che spesso si usano i due termini in modo intercambiabile; Philip Johnson-Laird ha colto quest'intreccio con la frase: « Per decidere, giudicate; per giudicare, ragionate; per ragionare, decidete – su che cosa ragionare ».[2]

Inoltre, i due termini per solito implicano che chi decide conosca: a) la situazione che richiede una decisione; b) le differenti possibili scelte di azione (risposte); c) le conseguenze di ciascuna di tali scelte (esiti) nell'immediato e in tempi futuri. La conoscenza esiste nella memoria sotto forma di rappresentazione disposizionale e può essere resa accessibile alla coscienza in versioni sia linguistica sia non linguistica, pressoché simultaneamente.

I due termini implicano anche che chi decide possegga qualche strategia logica per produrre inferenze efficaci sulla base delle quali scegliere un'adeguata risposta, e che siano operanti i processi di sostegno che il ragionamento richiede. Tra questi ultimi si citano di solito l'attenzione e la memoria operativa, ma nemmeno un accenno si fa all'emozione o al sentimento, e quasi nulla si dice del meccanismo mediante il quale si genera un repertorio di opzioni diverse tra cui scegliere.

Se ne desume che non tutti i processi biologici che culminano nella scelta di una risposta rientrano nell'àmbito del ragionamento e della decisione quali li abbiamo definiti. I seguenti esempi serviranno a illustrare questo punto.

Primo esempio: si consideri quello che accade quando il livello degli zuccheri nel sangue si abbassa e i neuroni dell'ipotalamo rilevano questo calo. Vi è una situazione che richiede un'azione; vi è un *know-how* fisiologico iscritto nelle rappresentazioni disposizionali dell'ipotalamo; vi è infine, iscritta in un circuito neurale, una « strategia » per selezionare una risposta, consistente nell'istituire una condizione di fame che alla fine porterà il soggetto a mangiare. Ma il processo non coinvolge alcuna conoscenza dichiarata, alcun dispiegamento esplicito di opzioni e conseguenze, alcun meccanismo conscio di inferenza, fino al momento in cui il soggetto diviene consapevole di essere affamato.

Come secondo esempio, si consideri quel che ac-

cade quando si fa un movimento brusco per schivare un oggetto che cade. Vi è una situazione (l'oggetto che cade) che richiede un'azione immediata; vi sono opzioni d'azione (scansarsi o no), ognuna delle quali comporta conseguenze diverse. Ma per scegliere la risposta non si adotta una conoscenza conscia (esplicita), né una strategia di ragionamento conscia. La conoscenza richiesta era conscia, la prima volta in cui si è appreso che un oggetto che cade può ferire, e che evitarlo o fermarlo è meglio che esserne colpiti; poi l'esperienza fatta con tali scenari, via via che si cresceva, ha fatto sì che il cervello accoppiasse in modo fermo lo stimolo agente con la risposta più vantaggiosa. Ora, la « strategia » di scelta della risposta consiste nell'attivare il forte legame tra stimolo e risposta, così che l'attuazione di quest'ultima avviene in modo *automatico* e *rapido*, senza sforzo o deliberazione, anche se si può volontariamente tentare di prepararla.

Il terzo esempio mette assieme una varietà di casi radunabili in due gruppi. Il primo comprende la scelta di una carriera; di chi amare o assistere; la decisione di volare o no quando c'è minaccia di tempeste; la decisione di come votare, o di come investire i propri risparmi; di perdonare o no una persona che ci ha fatto del male, o – per il governatore di uno Stato – di commutare la pena di un detenuto recluso nel braccio della morte. Quanto al secondo gruppo di esempi, per la maggior parte degli individui esso comprenderebbe il ragionamento che accompagna la costruzione di una nuova macchina, o la progettazione di un nuovo edificio, o la risoluzione di un problema matematico, la composizione di un brano musicale o la stesura di un libro, o il giudicare se una nuova proposta di legge si accorda o contrasta con lo spirito o la lettera di un emendamento alla Costituzione.

Tutti i casi elencati nel terzo esempio si fondano sul processo (supposto chiaro) di desumere conse-

guenze logiche da premesse date per scontate, di trarre inferenze affidabili che, sgombre da passioni, ci consentano di fare la migliore scelta, che conduca all'esito migliore, per il problema peggiore che possa presentarsi. Così non è difficile separare il terzo esempio dai primi due. In tutti i casi che rientrano nel terzo esempio, le situazioni di stimolo hanno parte maggiore; le opzioni di risposta sono più numerose; le rispettive conseguenze hanno più ramificazioni e sono spesso differenti, nell'immediato e nel futuro, proponendo in tal modo conflitti tra possibili vantaggi e svantaggi entro cornici temporali diverse. Complessità e incertezza si profilano talmente grandi che non è facile arrivare a previsioni affidabili. Non meno importante è il fatto che deve presentarsi alla coscienza un gran numero di quella miriade di opzioni e di esiti, perché si possa fissare una strategia di attività. Per selezionare la risposta finale bisogna applicare il ragionamento, e ciò comporta il tenere a mente una moltitudine di fatti, registrare i risultati di azioni ipotetiche e associarli agli obiettivi intermedi e a quelli ultimi: tutte cose che richiedono un metodo, qualche tipo di piano di gioco tra i molti già saggiati.

Sulla base delle lampanti differenze fra il terzo esempio e i primi due, non fa sorpresa lo scoprire che ad essi corrispondono meccanismi del tutto privi di relazioni, sia mentalmente sia neuralmente – separati in tale misura che Cartesio pose l'uno all'esterno del corpo, come marchio caratteristico dello spirito umano, mentre gli altri rimanevano all'interno, contrassegno degli spiriti animali; talmente separati che l'uno indica chiarezza di pensiero, competenza deduttiva, capacità algoritmica, mentre gli altri connotano oscurità e la meno disciplinata vita delle passioni.

Ma se la natura dei casi che illustrano il terzo esempio indica una differenza vistosa rispetto ai primi due, è anche vero che tali casi non sono tutti dello

stesso tipo. Scontato che tutti richiedono ragione, nella accezione usuale del termine, alcuni sono però più vicini degli altri alla persona e all'ambiente sociale del decisore. Così, decidere di amare o perdonare, scegliere una carriera, compiere un investimento, rientrano nel dominio immediato personale e sociale, mentre risolvere l'ultimo teorema di Fermat o decretare la costituzionalità di un capitolo di legislazione sono più distanti dal nucleo personale (anche se non è difficile pensare a eccezioni). Il primo gruppo richiama la nozione di razionalità e di ragione pratica, il secondo ricade più facilmente nel dominio della ragione in senso più generale, della ragione teoretica, financo della ragione pura.

E tuttavia, a dispetto delle manifeste differenze tra gli esempi e del loro apparente raggrupparsi per àmbito e per livello di complessità, può ben esservi un filo comune che li percorre tutti, nella forma di un nocciolo neurobiologico condiviso.

Ragionamento e decisione nello spazio personale e sociale

Ragionare e decidere può essere arduo, ma lo è in modo particolare quando sono in gioco l'esistenza e il suo contesto sociale immediato. Vi sono diverse buone ragioni per farne un dominio separato. In primo luogo, a una profonda menomazione della capacità personale di decidere non si accompagna necessariamente una menomazione altrettanto profonda nell'àmbito non personale – come hanno confermato i casi di Phineas Gage, di Elliot e altri. Attualmente, stiamo indagando per scoprire con quanta competenza tali pazienti ragionino quando le premesse non li riguardano in modo diretto e con quanta efficacia possano pervenire alle conseguenti decisioni: può darsi che,

quanto più i problemi sono staccati dal loro essere personale e sociale, tanto meglio essi riescano ad affrontarli. In secondo luogo, basta osservare il comportamento umano con il comune buon senso per vedere confermata un'analoga dissociazione delle capacità di ragionare, che va in entrambe le direzioni. Tutti conosciamo qualche persona eccezionalmente abile nella navigazione sociale, infallibile nel cercare ciò che è di vantaggio per sé e per il proprio gruppo, ma che può rivelarsi vistosamente inetta quando sia alle prese con un problema non personale e non sociale. Non meno patente è la condizione opposta: sappiamo di artisti e scienziati di grande creatività il cui senso sociale è una sciagura, e che con il proprio comportamento danneggiano regolarmente sé e gli altri (una variante inoffensiva di quest'ultima tipologia è il professore con la testa fra le nuvole). In tali differenti personalità ravvisiamo la presenza o l'assenza di quella che Howard Gardner chiama « intelligenza sociale », oppure di una delle sue molteplici intelligenze, come quella « matematica ».[3]

Il dominio personale e sociale immediato è quello che si trova più vicino alla nostra sorte, e anche quello che comporta il massimo di incertezza e complessità. Parlando in generale, all'interno di tale dominio decidere bene significa selezionare una risposta che alla fine sarà vantaggiosa per l'organismo, direttamente o indirettamente, in termini di sopravvivenza e di qualità di tale sopravvivenza. Decidere bene significa anche decidere alla svelta, specie quando il tempo è essenziale, o almeno decidere entro un arco temporale che si giudica adeguato al problema in questione.

So bene che è arduo definire che cosa sia vantaggioso, e mi rendo conto che alcuni esiti

possono essere vantaggiosi per alcuni individui e non per altri. Ad esempio, essere milionari, o vincere un premio, non è necessariamente un bene; molto dipende dal quadro di riferimento e dall'obiettivo che ci si prefigge. Quando definisco vantaggiosa una decisione, io mi riferisco sempre a esiti personali e sociali di base: la sopravvivenza dell'individuo e del suo gruppo parentale, la sicurezza di un tetto, la salute fisica e mentale, occupazione, solvibilità finanziaria, una buona collocazione nel gruppo sociale. A Gage o a Elliot la nuova mente non consentiva di procacciarsi tali vantaggi.

Razionalità all'opera

Si consideri, per cominciare, una situazione che richiede una scelta: siete il proprietario di un'impresa, in procinto di incontrare – oppure no – un possibile cliente che potrebbe farvi concludere un buon affare, ma che è anche acerrimo nemico del vostro miglior amico. Il cervello di un adulto normale, intelligente e istruito, reagisce creando rapidamente scenari diversi di possibili risposte e di esiti conseguenti, che alla nostra coscienza si presentano come scene immaginarie e molteplici: non un film continuo, ma piuttosto una rapida giustapposizione di singoli quadri, immagini lampeggianti che corrispondono a scene cruciali e che vengono toccate saltando dall'una all'altra. Ad esempio: l'incontro con il possibile cliente; il vostro amico che vi vede in sua compagnia, e la minaccia che ciò comporta per la vostra amicizia; oppure, la rinuncia all'incontro e la perdita di un buon affare, ma a tutela di un'amicizia che per voi è preziosa; e così via. Quello che voglio fare osservare, qui, è che la vostra mente non è tabula rasa, all'inizio del processo di ragionamento; piuttosto, è dotata di un repertorio di immagini

diverse, generate per il complesso delle situazioni che state affrontando; esse entrano ed escono dalla coscienza in una varietà troppo ricca perché voi possiate abbracciarla tutta. Anche in questo esempio un po' forzato è possibile ravvisare il tipo di dilemmi che ci si trova ad affrontare quotidianamente o quasi. Come si fa a risolverli? Come si selezionano le questioni inerenti alle immagini che sfilano davanti all'occhio della mente?

Vi sono almeno due possibilità distinte: la prima discende da una nozione tradizionale, « di ragione alta », del decidere; la seconda, dall'ipotesi del marcatore somatico.

La prospettiva « di ragione alta » non è altro che quella del buon senso, e giudica che, al meglio della nostra capacità di decidere, noi siamo orgoglio e vanto di Platone, Cartesio e Kant. La logica formale di per sé ci condurrà alla soluzione migliore tra quelle disponibili, per qualsiasi problema. Un aspetto importante di questa concezione razionalistica è che bisogna escludere le emozioni, per ottenere i migliori risultati: l'elaborazione razionale non deve essere impacciata da passioni.

In questa prospettiva, i differenti scenari sono considerati, fondamentalmente, uno alla volta e, per usare il gergo manageriale oggi di moda, su ciascuno di essi si compie un'analisi costi/benefici. Avendo in mente l'« utilità soggettiva attesa » (che è ciò che si vuole massimizzare), si deduce per via logica che cosa è buono e che cosa non lo è. Per esempio, si considerano le conseguenze di ogni opzione in momenti diversi del futuro previsto e si « pesano » guadagni e perdite che ne conseguirebbero. Via via che si procede nella deduzione, l'analisi diventa tutt'altro che facile, poiché la maggior parte dei problemi presenta ben più di due alternative, come nell'esempio riportato. Ma si osservi che anche un problema a due alternative non è così semplice. Acquisire un nuovo cliente può portare un

guadagno immediato, e anche un sostanzioso guadagno futuro; quanto, però, non si sa, e perciò bisogna stimarne l'entità e l'andamento nel tempo, in modo da poter istituire un confronto con le potenziali perdite – tra le quali vanno annoverate anche le conseguenze della rottura di un'amicizia. E siccome queste ultime variano nel tempo, bisognerà anche stimarne il tasso di « deprezzamento »! Di fatto, quindi, ci si trova ad affrontare un calcolo complesso, da impostare in epoche immaginarie differenti e ponendo a paragone risultati di natura differente, che devono essere in qualche modo riportati a una moneta unica, perché il paragone abbia un senso. In buona misura, tale calcolo dipenderà dalla generazione ininterrotta di nuovi scenari immaginari, costruiti su schemi uditivi e visivi (fra gli altri), e anche dalla generazione ininterrotta di narrazioni verbali che accompagnano quegli scenari e che sono essenziali per tenere in attività il processo di inferenza logica.

Quello che voglio sostenere ora è che, se questa strategia è l'*unica* disponibile, la razionalità descritta in precedenza non può funzionare. Nel migliore dei casi, la decisione richiederà un tempo troppo lungo, assai più lungo di quanto si possa accettare se nella medesima giornata si deve fare qualcosa d'altro; nel peggiore, poi, non si arriverà ad alcuna decisione, ma ci si ritroverà smarriti nel labirinto dei calcoli. Per quale motivo? Perché non è facile tenere a memoria i molteplici livelli di guadagni e perdite che bisogna confrontare: dalla lavagna della memoria semplicemente scompaiono le rappresentazioni dei passi intermedi che bisogna tenere in serbo e poi passare in rassegna per trasferirli nella forma simbolica richiesta per operare l'inferenza logica. Di quei passi intermedi si perdono le tracce, giacché attenzione e memoria operativa hanno capacità limitata. Alla fine, se la mente opera di solito secondo calcoli puramente razionali, si potrebbe

scegliere in modo errato e vivere rammaricandosi dell'errore, o rinunciare a tentare, frustrati.

L'esperienza fatta con pazienti come Elliot suggerisce che la strategia fredda sostenuta da Kant (fra gli altri) ha molto più a che vedere con il modo in cui pazienti colpiti da lesioni prefrontali si adoperano per decidere che con il modo di operare dei soggetti normali. Ovviamente, anche i ragionatori puri possono fare meglio di così, aiutandosi con carta e matita: basta stendere un elenco di tutte le possibili opzioni e delle miriadi di scenari che se ne diramano, delle loro conseguenze, e così via. (Sembra che Darwin suggerisse di fare così, per scegliere la persona giusta da sposare). Ma, in tal caso, procuratevi un bel po' di carta e un temperamatite robusto, e non aspettatevi che gli altri abbiano la pazienza di seguirvi fino a che sarete giunti alla fine.

È importante anche osservare che le pecche della prospettiva di buon senso vanno oltre la limitatezza della capacità di memoria. Come hanno dimostrato Amos Tversky e Daniel Kahneman, le strategie di ragionamento di per sé sono disseminate di punti deboli – anche per chi disponga di carta e matita per fissare la conoscenza necessaria.[4] Stuart Sutherland ha suggerito che una di tali debolezze risieda nella devastante ignoranza e nello scarso impiego, da parte degli esseri umani, della statistica e della teoria della probabilità.[5] Tuttavia il nostro cervello sovente può decidere bene in minuti o in frazioni di minuto, a seconda del quadro temporale che stabiliamo come appropriato per gli obiettivi che vogliamo conseguire; se così è, allora non è soltanto con la ragione pura che esso deve eseguire il suo mirabile compito. Occorre un'altra prospettiva.

L'ipotesi del marcatore somatico

Si considerino di nuovo gli scenari da me delineati. I componenti chiave si dispiegano nella nostra

mente in modo istantaneo, a grandi linee e pressoché in simultanea, con troppa rapidità perché i particolari possano essere nitidamente definiti. Ma ora si immagini che, prima di applicare un qualsiasi tipo di analisi costi/benefici alle premesse, e prima di cominciare a ragionare verso la soluzione del problema, accada qualcosa di molto importante: quando viene alla mente, sia pure a lampi, l'esito negativo connesso con una determinata opzione di risposta, si avverte una sensazione spiacevole alla bocca dello stomaco. Dato che ciò riguarda il corpo, ho definito il fenomeno con il termine tecnico di stato *somatico*; e dato che esso « contrassegna » un'immagine, l'ho chiamato *marcatore*. Si osservi ancora una volta che uso il termine « somatico » nel senso più generale, e che quando faccio riferimento ai marcatori somatici includo sia sensazioni viscerali sia sensazioni non viscerali.

Che cosa fa il *marcatore somatico*? Esso forza l'attenzione sull'esito negativo al quale può condurre una data azione, e agisce come un segnale automatico di allarme che dice: attenzione al pericolo che ti attende se scegli l'opzione che conduce a tale esito. Il segnale può farvi abbandonare *immediatamente* il corso negativo d'azione e così portarvi a scegliere fra alternative che lo escludono; vi protegge da perdite future, senza ulteriori fastidi, e in tal modo vi permette di *scegliere entro un numero minore di alternative*. È ancora possibile impiegare l'analisi costi/benefici e l'appropriata competenza deduttiva, ma solo *dopo* che il passo automatizzato ha ridotto drasticamente il numero di opzioni. Nel normale processo umano di decisione i marcatori somatici possono non essere sufficienti, poiché in molti casi (seppure non in tutti) avrà ancora luogo un successivo processo di ragionamento e decisione finale. I marcatori somatici rendono più efficiente e preciso, con ogni probabilità, il processo di decisione, mentre la loro assenza riduce efficienza e precisione.

Questa è una distinzione importante, anche se è facile che sfugga. L'ipotesi non riguarda i passi di ragionamento che seguono l'azione del marcatore somatico. In breve, *i marcatori somatici sono esempi speciali di sentimenti generati a partire dalle emozioni secondarie*. Quelle emozioni e sentimenti *sono stati connessi, tramite l'apprendimento, a previsti esiti futuri di certi scenari*. Quando un marcatore somatico negativo è giustapposto a un particolare esito futuro, la combinazione funziona come un campanello d'allarme; quando invece interviene un marcatore positivo, esso diviene un segnalatore di incentivi.

Qui sta l'essenza dell'ipotesi; ma per coglierne appieno la portata è opportuno procedere nella lettura: si scoprirà, ad esempio, che all'occorrenza i marcatori somatici possono operare celati (cioè senza emergere alla coscienza), e possono utilizzare un anello «come se».

Essi non deliberano per noi; assistono il processo illuminando alcune opzioni (pericolose o promettenti) ed eliminandole presto dall'analisi successiva; li si può vedere come un sistema di automatica qualificazione delle previsioni che opera – lo si voglia o no – valutando i più diversi scenari del prevedibile futuro che si prospetta. Li si può immaginare come dispositivi che attribuiscono un «segno». Ad esempio, supponete che vi si prospetti un investimento ad altissimo rischio, ma che potrebbe comportare un guadagno insolitamente alto, e che vi si chieda di approvarlo o rifiutarlo in un tempo assai breve, e mentre siete distratti da altri problemi analoghi. Se il pensiero di procedere a tale investimento è accompagnato da uno stato somatico negativo, ciò contribuirà a farvi respingere quell'investimento e vi costringerà a un esame più minuzioso delle sue conseguenze potenzialmente nocive: lo stato negativo connesso con il futuro bilancia la seducente prospettiva di una rimunerazione forte e immediata.

La descrizione del marcatore somatico è, così,

compatibile con la nozione che il comportamento personale e sociale efficace richiede che gli individui si formino « teorie » adeguate della propria e delle altrui menti. Su tale base è possibile prevedere quali teorie gli altri si stanno formando delle proprie, di menti; e ciò con una precisione e una minuziosità che sono ovviamente essenziali quando ci si avvicina a una decisione critica in una situazione sociale. Ancora, immenso è il numero degli scenari in esame, e la mia idea è che i marcatori somatici (o qualcosa di simile) assistano il processo di cernita entro tale ricchezza di particolari – anzi, essi riducono il bisogno di cernita perché forniscono una rilevazione automatica dei componenti dello scenario che è più probabile siano rilevanti. Dovrebbe risultare così evidente l'associazione tra processi cosiddetti cognitivi e processi chiamati « emotivi ».

La descrizione generale qui esposta si applica anche alla scelta di azioni che hanno conseguenze immediate negative ma che generano esiti futuri positivi: ad esempio, tollerare sacrifici oggi per ottenere qualche beneficio più avanti. Supponete che, per dare una svolta positiva alle fortune della vostra azienda in declino, voi e i vostri lavoratori dobbiate accettare da subito una riduzione degli stipendi e insieme un cospicuo aumento del numero di ore di lavoro. La prospettiva immediata è poco piacevole, ma il pensiero di un vantaggio futuro crea un marcatore somatico positivo, e ciò vince la tendenza a decidere contro l'opzione immediatamente penosa. Il marcatore somatico positivo, che è innescato dall'immagine di un esito futuro buono, deve costituire la base per l'accettazione di una scelta spiacevole come premessa di un potenziale miglioramento. Altrimenti, resta inspiegabile come si possano accettare la chirurgia, il jogging, gli studi universitari o la scuola di medicina... Per pura forza di volontà? E come spiegare, allora, la forza di volontà? Questa attinge alla valutazione di una prospettiva, che non

può avere luogo se l'attenzione non è opportunamente convogliata sia sul disagio immediato sia sulla ricompensa futura, sulla sofferenza *di adesso* e insieme sulla gratificazione *a venire*. Togliete quest'ultima, e avrete tolto ogni capacità sostentatrice alle ali della vostra forza di volontà – quest'ultimo essendo solo un nome diverso per designare l'idea di scegliere in accordo con esiti a lungo anziché a breve termine.

Una digressione sull'altruismo

A questo punto è possibile vedere se la descrizione si applica alla maggior parte se non a tutte le decisioni usualmente classificate come altruistiche: i sacrifici che i genitori fanno per i propri figli, o che individui qualsiasi fanno per altri individui, o che i bravi cittadini una volta facevano per il re o per lo Stato – e che gli ultimi eroi del nostro tempo ancora fanno. Oltre al bene evidente che gli altruisti arrecano ad altri, vi è il bene che essi possono accumulare su di sé nella forma di autostima, considerazione sociale, affetto e onori pubblici, prestigio, forse anche denaro. Alla prospettiva di una qualsiasi di tali ricompense può accompagnarsi l'esaltazione (la cui base neurale io vedo come un marcatore somatico positivo), e senza dubbio ne può seguire un rapimento ancora più palpabile quando la prospettiva si fa realtà. I comportamenti altruistici beneficiano chi li pratica anche in un altro modo, che qui è importante notare: essi preservano l'altruista dalle sofferenze e dai dolori futuri che sarebbero stati provocati dalle perdite o dalla vergogna per *non* essersi comportati in modo altruistico. Non solo l'idea di rischiare la vita per salvare quella di vostra figlia vi fa sentir bene, ma l'idea di non farlo e

di perderla vi fa sentire assai peggio di quanto farebbe il rischio immediato. In altre parole, la valutazione ha luogo confrontando dolore immediato e premio futuro, e anche dolore immediato e più grave dolore futuro. (Un esempio simile è l'accettare il rischio di combattere in guerra: nel passato, la struttura sociale nella quale si intraprendevano le guerre « morali » includeva un riconoscimento positivo per i sopravvissuti, vergogna e disonore per chi si fosse sottratto).

Significa, tutto ciò, che non vi è vero altruismo? Corrisponde a una visione troppo cinica dell'animo umano? Io non lo credo. In primo luogo, l'autentico altruismo (o qualsiasi comportamento equivalente) ha a che fare con la relazione fra ciò che noi *internamente* crediamo, sentiamo o ci ripromettiamo, e ciò che *esternamente* dichiariamo di credere, di sentire o di riprometterci. La verità non riguarda le cause fisiologiche che ci fanno credere, sentire o proporci in un dato modo. Credenze, sentimenti e propositi sono il risultato di una varietà di fattori radicati nel nostro organismo e nella cultura nella quale siamo stati immersi, anche se tali fattori possono essere remoti e possiamo non esserne consapevoli. Se ragioni neurofisiologiche o legate all'educazione fanno sì che alcune persone siano oneste e generose, sia; non ne segue che la loro onestà e generosità perdano merito. Inoltre, comprendere i meccanismi neurobiologici che stanno dietro alcuni aspetti della cognizione e del comportamento non ne riduce il valore, la bellezza o la dignità.

In secondo luogo, sebbene biologia e cultura determinino spesso, in modo diretto o indiretto, il nostro ragionamento e possa sembrare che limitino l'esercizio della libertà individuale, va riconosciuto che gli esseri umani hanno

qualche agio per tale libertà, per volere e compiere azioni che possono andare contro la tessitura manifesta di biologia e cultura. Alcune sublimi conquiste umane scaturiscono dal rigetto di quello che biologia o cultura spingono gli individui a fare; esse sono l'affermazione di un nuovo livello dell'essere, nel quale si possono inventare nuovi artefatti e forgiare più giusti modi di esistere. Tuttavia in certe circostanze la libertà dai vincoli biologici e culturali può anche essere un marchio di follia, può nutrire le idee e gli atti del demente.

Da dove provengono i marcatori somatici?

Qual è la loro origine, in termini neurali? Come siamo arrivati a possedere questi dispositivi così utili? Sono congeniti – e, se no, come sono scaturiti?

Si è visto nel capitolo precedente che siamo nati con l'armamentario neurale occorrente per generare stati somatici in risposta a certe classi di stimoli: l'armamentario delle emozioni primarie, che è intrinsecamente diretto a elaborare i segnali riguardanti il comportamento personale e sociale, e incorpora sin dall'inizio disposizioni ad accoppiare un grande numero di situazioni sociali con risposte somatiche adattative. Con questa concezione si accordano alcune risultanze relative a esseri umani normali, come pure le prove di schemi complessi di cognizione sociale in altri mammiferi e in uccelli.[6] Ciò nonostante, la maggioranza dei marcatori somatici che noi impieghiamo per decidere in modo razionale è stata probabilmente creata nel nostro cervello durante il processo di istruzione e socializzazione, tramite la connessione di specifiche classi di stimoli con specifiche classi di stati somatici. In altre parole, si basano sul processo delle emozioni secondarie.

Lo sviluppo dei marcatori somatici adattativi ri-

chiede un cervello e una cultura normali; quando l'uno o l'altra sono in difetto sin dall'inizio, è improbabile che i marcatori somatici siano adattativi. Un esempio del primo tipo di deficit si può riscontrare se non altro in alcuni pazienti affetti da una condizione nota come sociopatia dello sviluppo o psicopatia. Tali soggetti ci sono ben noti dalla cronaca: essi rubano, violentano, uccidono, mentono. Spesso sono individui di intelletto vivace. La soglia alla quale le loro emozioni entrano in gioco (se entrano in gioco) è talmente alta da farli apparire imperturbabili; per loro esplicita ammissione, essi sono insensibili e noncuranti degli altri: la perfetta rappresentazione della freddezza che viene sempre raccomandata per riuscire a fare, all'occorrenza, la cosa giusta. A sangue freddo, e con svantaggio di tutti (anche proprio), essi ripetono i loro crimini. Sono, in effetti, un altro esempio di uno stato patologico nel quale un declino della razionalità è accompagnato da riduzione o assenza del sentimento. È certamente possibile che la psicopatia scaturisca da una disfunzione all'interno del medesimo sistema complessivo che era menomato in Gage, a livello corticale o subcorticale. Ma anziché derivare da un manifesto danno macroscopico sopravvenuto in età adulta, la menomazione degli psicopatici scaturirebbe da anormalità delle connessioni e dei segnali chimici, e inizierebbe in uno stadio precoce dello sviluppo. Comprenderne la neurobiologia potrebbe condurre a forme di prevenzione o di terapia; potrebbe anche contribuire a farci capire in quale misura i fattori sociali interagiscono con quelli biologici per aggravare la condizione o farla comparire più di frequente, e gettare un po' di luce su stati che possono essere all'apparenza simili e tuttavia dipendere in larga misura da fattori socioculturali.

Quando (come nel caso di Gage) il meccanismo neurale che specificamente regge l'edificazione e il dispiegamento dei marcatori somatici viene dan-

neggiato in età adulta, il dispositivo del marcatore somatico cessa di operare in modo corretto, anche se fino a quel momento è stato normale. Per descrivere una parte dei comportamenti di tali soggetti io uso il termine di sociopatia « acquisita », come notazione abbreviata e con riserva; peraltro tra i miei pazienti e i sociopatici vi sono svariate differenze, non ultimo il fatto che di rado i miei pazienti manifestano violenza.

Sul sistema di ragionamento di un *adulto* normale gli effetti di una « cultura malata » sembrano essere meno vistosi di quelli di una lesione cerebrale in un'area focale; ma vi sono diversi controesempi. In Germania e in Unione Sovietica durante gli anni Trenta e Quaranta, in Cina durante la Rivoluzione culturale e in Cambogia durante il regime di Pol Pot (per menzionare solo i casi più evidenti), una cultura malata prevalse su un presumibilmente normale andamento della ragione, con conseguenze disastrose. Io temo che anche settori piuttosto grandi della società occidentale si stiano gradualmente avviando a costituire altri tragici controesempi.

Così i marcatori somatici vengono acquisiti attraverso l'esperienza, sotto il controllo di un sistema di preferenze interne e sotto l'influenza di un insieme esterno di circostanze che comprende non solo entità ed eventi con i quali l'organismo deve interagire, ma anche convenzioni sociali e norme etiche.

La base neurale del sistema di preferenze interne consiste di disposizioni regolatrici per lo più innate, poste per assicurare la sopravvivenza dell'organismo. La conquista della sopravvivenza coincide con la riduzione massima degli stati somatici insoddisfacenti e con il raggiungimento di stati omeostatici, cioè stati biologici funzionalmente in equilibrio. Il sistema di preferenze interno è intrinsecamente orientato a evitare il dolore e cercare il potenziale piacere; probabilmente esso è presintonizzato per conseguire tali obiettivi in situazioni sociali.

L'insieme esterno di circostanze abbraccia le entità, l'ambiente fisico e gli eventi rispetto ai quali l'individuo deve agire; le possibili scelte di azione; i possibili esiti futuri di queste; la punizione o la ricompensa che accompagnano una data azione (subito o con un certo ritardo) come esiti del dispiegarsi dell'azione scelta. Nelle prime fasi dello sviluppo, punizione e ricompensa vengono somministrate non solo dalle entità stesse, ma anche da genitori, anziani e pari, i quali incarnano l'etica e le convenzioni sociali della cultura cui l'organismo appartiene. L'interazione tra i due sistemi estende il repertorio di stimoli che diverranno automaticamente marcati.

Senza dubbio è nell'infanzia e nell'adolescenza che si acquisisce l'insieme critico, formativo, di stimoli per l'appaiamento somatico; ma l'accumulo di stimoli somaticamente marcati cessa solo con il cessare della vita, e quindi è corretto descriverlo come un processo di apprendimento continuo.

A livello neurale, i marcatori somatici dipendono dall'apprendimento all'interno di un sistema che può collegare certe categorie di entità o di eventi con il formarsi di uno stato corporeo, piacevole o spiacevole. Va detto che è importante non restringere il significato di punizione o ricompensa, in interazioni sociali che si evolvono: la mancanza di ricompensa può costituire punizione e risultare spiacevole, così come la mancanza di punizione può costituire ricompensa e dare grande piacere. Il fattore decisivo è il tipo di stato somatico e di sentimento prodotto in un dato individuo a un dato momento della sua storia e in una data situazione.

Quando alla scelta dell'opzione X, che porta all'esito cattivo Y, fa seguito la punizione, e quindi stati corporei dolorosi, il sistema dei marcatori somatici acquisisce la rappresentazione disposizionale nascosta di tale connessione arbitraria, non ereditata, guidata dall'esperienza. Una nuova esposizione dell'organismo all'opzione X, o il pensare all'esito Y, avran-

no ora il potere di rappresentare di nuovo lo stato corporeo doloroso, servendo così da promemoria automatico delle cattive conseguenze a venire.

Quanto detto costituisce una semplificazione spinta, che però coglie il processo di base quale io lo vedo. I marcatori somatici possono operare in modo celato (non occorre che siano percepiti a livello conscio) e possono adempiere altre utili funzioni, oltre a segnalare « Pericolo! » o « Via libera! ».

Una rete neurale per i marcatori somatici

Il sistema neurale critico ai fini dell'acquisizione dei marcatori somatici emettitori di segnali si trova nelle cortecce prefrontali, dove è in buona misura coestensivo con il sistema che è critico per le emozioni secondarie. Per ragioni che espongo qui di seguito, la posizione neuroanatomica delle cortecce prefrontali è quella ideale, per lo scopo indicato.

In primo luogo, le cortecce prefrontali ricevono segnali da tutte le regioni sensitive nelle quali si formano le immagini che costituiscono i nostri pensieri, comprese le cortecce somatosensitive nelle quali sono rappresentati in continuità gli stati corporei passati e presenti. Le cortecce prefrontali ricevono i segnali (che possono scaturire da percezioni riferite al mondo esterno, o da pensieri riguardo al mondo esterno, o da eventi del corpo) e ciò è vero per tutti i loro settori separati, poiché i vari settori frontali sono mutuamente interconnessi, nell'àmbito della regione frontale. Quindi le cortecce prefrontali contengono alcune delle poche regioni cerebrali che sono al corrente di segnali riguardanti tutte, o quasi, le attività che si svolgono nel corpo o nella mente, in un qualunque momento.[7] (Le cortecce prefrontali non sono le uniche postazioni di sorveglianza; un'altra è la corteccia entorinale, la porta di accesso all'ippocampo).

In secondo luogo, le cortecce prefrontali ricevono segnali da diversi settori bioregolatori del cervello umano: tra questi, i nuclei neurotrasmettitori nel midollo allungato (ad esempio, quelli che distribuiscono la dopamina, la norepinefrina e la serotonina), come pure l'amigdala, il cingolato anteriore e l'ipotalamo. Si potrebbe dire che le cortecce prefrontali ricevono messaggi da tutto il personale del Bureau of Standards and Measures. Tali segnali convogliano alle cortecce prefrontali le preferenze innate dell'organismo, legate alla sua sopravvivenza (il suo sistema di valori biologico, potremmo dire) e sono, così, parte integrante dell'apparato di ragionamento e decisione.

In effetti i settori prefrontali si trovano in una posizione privilegiata, tra i vari sistemi cerebrali. Le loro cortecce ricevono segnali riguardo alla conoscenza fattuale (esistente e in arrivo) relativa al mondo esterno; riguardo alle preferenze regolatrici biologiche innate; riguardo allo stato corporeo, precedente e presente, modificato di continuo da quella conoscenza e da quelle preferenze. Non fa meraviglia, quindi, che essi siano così fortemente implicati nel processo che affronterò tra poco: la categorizzazione delle nostre esperienze di vita in accordo con molte dimensioni contingenti.

In terzo luogo, le stesse cortecce prefrontali rappresentano categorizzazioni delle situazioni nelle quali l'organismo è stato coinvolto, classificazioni delle circostanze della nostra esperienza di vita. Ciò significa che le reti prefrontali stabiliscono rappresentazioni disposizionali per certe combinazioni di cose e di eventi dell'esperienza di ciascuno, in accordo con la rilevanza che hanno per il soggetto. Spieghiamolo con un esempio. L'incontro con un certo tipo di persona, simpatica ma autoritaria, può essere stato seguìto da una situazione nella quale vi siete sentiti sminuiti o, al contrario, rafforzati; l'essere costretti ad accettare un ruolo di preminenza

può avervi spinto a dare il meglio, o il peggio; un soggiorno in campagna può avervi reso malinconici, mentre la vista dell'oceano vi fa diventare incurabilmente romantici. In ognuno di questi casi, il vostro vicino può avere avuto l'esperienza esattamente opposta, o almeno un'esperienza diversa. È qui che si applica la nozione di *contingenza*: è una cosa vostra, connessa con la vostra esperienza, relativa a eventi che variano da persona a persona. L'esperienza che voi, il vostro vicino o io abbiamo avuto con pomi d'ottone o manici di scopa può essere meno contingente, perché la struttura e il funzionamento di entità come queste sono nel complesso coerenti e prevedibili.

Le zone di convergenza ubicate nelle cortecce prefrontali sono così il magazzino delle rappresentazioni disposizionali per le evenienze – opportunamente categorizzate e uniche – della vostra esperienza di vita. Se io vi chiedo di pensare a matrimoni, quelle rappresentazioni disposizionali prefrontali si impadroniscono di tale categoria e possono ricostruire diverse scene nuziali nel vostro spazio mentale delle immagini. (Si ricordi che, sul piano neurale, la ricostruzione non avviene nelle cortecce prefrontali, ma piuttosto in varie cortecce sensitive di ordine inferiore, dove possono formarsi le rappresentazioni topograficamente organizzate). Se vi chiedessi di pensare a matrimoni ebraici, o cattolici, potreste essere in grado di ricostruire gli appropriati insiemi di immagini categorizzate, e concettualizzare l'uno piuttosto che l'altro tipo di matrimonio; potreste anche aggiungere se vi piacciono i matrimoni, quale tipo di cerimonia nuziale vi piace di più, e così via.

L'intera regione prefrontale sembra dedicata a categorizzare le evenienze nella prospettiva di una rilevanza personale. È quanto è stato stabilito per la prima volta con riferimento al settore dorsolaterale nei lavori di Brenda Milner e Michael Petrides e di

Joaquim Fuster.[8] Le ricerche compiute nel mio laboratorio non solo confermano tali osservazioni, ma suggeriscono che altre strutture frontali, nei settori ventromediano e del polo frontale, sono non meno cruciali per il processo di categorizzazione.

Per fare previsioni e programmi bisogna produrre una ricchezza di scenari di esiti futuri; le evenienze categorizzate ne costituiscono la base. Il nostro ragionare tiene conto di obiettivi e di scale temporali per la messa in atto di tali obiettivi: occorre una grande abbondanza di conoscenze categorizzate su scala personale, se si vuole prevedere il dispiegarsi e l'esito di scenari relativi a obiettivi specifici e in quadri temporali appropriati.

È probabile che domìni diversi di conoscenza siano categorizzati in settori prefrontali diversi. Il dominio bioregolatore e sociale sembra dotato di un'affinità per i sistemi del settore ventromediano, mentre ai sistemi della regione dorsolaterale sembrano competere i domìni che includono la conoscenza del mondo esterno (entità quali oggetti e persone, le loro azioni nello spazio-tempo; il linguaggio; la matematica e la musica).

Vi è una quarta ragione che rende le cortecce prefrontali idealmente adatte a partecipare al ragionamento e alla decisione: esse sono direttamente connesse con ogni percorso di risposta chimica e motoria presente nel cervello. I settori dorsolaterale e mediano superiore possono attivare le cortecce premotorie e, da qui, portare in linea la cosiddetta corteccia motoria primaria (M1), l'area motoria supplementare (M2) e la terza area motoria (M3).[9] Parimenti, è accessibile alle cortecce prefrontali l'apparato motorio subcorticale dei gangli basali. Ultima considerazione, ma non meno importante: le cortecce prefrontali ventromediane mandano segnali agli effettori del sistema nervoso autonomo e possono suscitare risposte chimiche associate all'emozione, fuori dell'ipotalamo e del midollo allungato. Il primo a dimostrarlo

è stato il neuroanatomista Walle Nauta, e la dimostrazione non giunse per caso: tra i neuroscienziati, Nauta era quello che assegnava la più grande importanza all'informazione viscerale nei processi cognitivi. In conclusione, le cortecce prefrontali (e in particolare il loro settore ventromediano) sono idealmente adatte ad acquisire un legame a tre vie fra i segnali implicati con particolari tipi di situazioni: i differenti modi e pesi dello stato corporeo che sono stati associati a certi tipi di situazioni nell'esperienza individuale, e gli effettori di quegli stati corporei. Scambi in su e in giù si accompagnano armoniosamente, in tali cortecce.

Il teatro dei marcatori somatici è nel corpo o nel cervello?

Alla luce di quanto finora detto sulla fisiologia delle emozioni, ci si aspetterebbe non un solo meccanismo per il processo del marcatore somatico, ma due. In virtù del meccanismo di base, le cortecce prefrontali e l'amigdala impegnano il corpo ad assumere un particolare profilo di stato, il cui risultato viene quindi segnalato alla corteccia somatosensitiva, seguìto e reso conscio. Nel meccanismo alternativo, il corpo viene aggirato: le cortecce prefrontali e l'amigdala semplicemente dicono alla corteccia somatosensitiva di organizzarsi secondo l'esplicito schema di attività che essa avrebbe assunto se il corpo fosse stato posto nello stato deliberato e dal basso fossero giunti i segnali corrispondenti. La corteccia somatosensitiva opera come se stesse ricevendo segnali riguardo a un particolare stato corporeo, e per quanto lo schema di attività « come se » non possa essere esattamente lo stesso che se fosse generato da uno stato corporeo reale, pure esso può ancora influenzare la decisione.

I meccanismi « come se » sono un risultato dello

sviluppo. È probabile che, via via che venivamo socialmente « sintonizzati », durante l'infanzia e l'adolescenza, la maggior parte dei nostri processi di decisione venisse plasmata da stati somatici correlati con punizioni e ricompense. Ma con il procedere verso la maturità, e con il ripetersi di situazioni che venivano categorizzate, diminuiva il bisogno di fondarsi su stati somatici per ogni circostanza in cui c'era da prendere una decisione, e si sviluppava un altro livello di automazione, più vantaggioso. Prendevano l'avvio strategie di decisione dipendenti in parte da « simboli » di stati somatici, ed è una questione empirica di grande importanza stabilire in quale misura noi dipendiamo da tali simboli « come se », piuttosto che dalla occorrenza reale. Io credo che tale dipendenza sia molto variabile, da persona a persona e da argomento ad argomento: l'elaborazione simbolica può essere vantaggiosa oppure deleteria, a seconda delle circostanze e dell'oggetto.

Marcatori somatici manifesti o celati

Il marcatore somatico in sé ha più di una via di azione: ne ha una attraverso la coscienza e una fuori della coscienza. Indipendentemente dal fatto che gli stati corporei siano reali o fittizi (« come se »), il corrispondente schema neurale può essere reso conscio e costituire un sentimento. Tuttavia, anche se molte scelte importanti coinvolgono i sentimenti, un buon numero delle nostre decisioni quotidiane sembra procedere facendone a meno. Questo non significa che non ha avuto luogo la valutazione che di norma conduce a uno stato corporeo, o che lo stato corporeo (o il suo surrogato fittizio) non è stato impegnato; o che non è stato attivato il sottostante apparato disposizionale di regolazione. Molto semplicemente, può darsi che uno stato corporeo segnale (o il suo surrogato) sia stato attivato ma non

sia divenuto il centro dell'attenzione. Senza attenzione, né l'uno né l'altro sarà parte della coscienza, anche se l'uno o l'altro può essere parte di un'azione non manifesta sui meccanismi che governano, senza alcun controllo volontario, i nostri atteggiamenti appetitivi (avvicinamento) o avversivi (allontanamento) rispetto all'ambiente. Il sottostante apparato nascosto è stato attivato, ma la nostra coscienza non lo saprà mai. Per di più, l'avvio dell'attività da parte dei nuclei neurotrasmettitori (che ho descritto come una parte della risposta emotiva) può orientare i processi cognitivi in modo nascosto e così influenzare il ragionamento e la decisione.

Con il dovuto rispetto per gli esseri umani, e con tutte le cautele che sempre richiedono i confronti tra specie diverse, è manifesto che, negli organismi i cui cervelli non forniscono ragionamento e coscienza, al centro dell'apparato di decisione si trovano meccanismi celati, che sono un mezzo per costruire « previsioni » di esito e orientare i dispositivi di azione dell'organismo affinché esso si comporti in un dato modo – il che all'osservatore esterno può sembrare una scelta. Con ogni probabilità, è così che le api operaie « decidono » su quali fiori posarsi. Non sto qui suggerendo che nel profondo del cervello di ciascuno di noi vi sia un cervello d'ape che prende le nostre decisioni: l'evoluzione non è la grande catena dell'essere, ma ha imboccato molte strade distinte, una delle quali ha condotto agli esseri umani. Credo, però, che sia molto proficuo studiare in qual modo organismi più semplici eseguano compiti che sembrano intricati disponendo di mezzi neurali modesti; forse alcuni meccanismi dello stesso tipo operano anche in noi. Tutto qui.

Honeysuckle rose!

« You're confection, goodness knows, honeysuckle rose »: così suonano le parole di un vec-

chio motivo jazz di Fats Waller, e così va il destino dell'ape laboriosa. Il successo riproduttivo, e in definitiva la sopravvivenza di una colonia di api, dipendono dall'esito dell'approvvigionamento di nettare da parte delle operaie; se il lavoro di queste non riesce a raccoglierne abbastanza, non vi sarà miele, le risorse energetiche andranno declinando e lo stesso accadrà alla colonia.

Le api operaie sono munite di un apparato visivo che consente loro di distinguere il colore dei fiori; inoltre dispongono di un apparato motorio grazie al quale possono volare e posarsi. Studi recenti hanno dimostrato che le api operaie imparano, dopo poche visite a fiori variamente colorati, a riconoscere quali è più verosimile che contengano il nettare di cui esse vanno in cerca. È chiaro, quindi, che all'aperto esse non si posano su tutti i fiori per vedere se in ciascuno vi è nettare; si comportano come se prevedessero quali fiori più probabilmente ne conterranno, e su questi si posano più di frequente. Leslie Real, che ha studiato sperimentalmente il comportamento del bombo operaio (*Bombus pennsylvanicus*), così afferma: « Sembra che i bombi si costruiscano delle probabilità sulla base della frequenza con cui si imbattono in tipi differenti di stati di ricompensa; cominciano senza alcuna stima a priori di possibilità ».[10] Come fanno le api, con il loro modesto sistema nervoso, a produrre un comportamento che suggerisce con forza l'esistenza di una ragione « alta », e sembra indicare l'impiego di conoscenza, teoria della probabilità e strategie di ragionamento orientate verso un traguardo?

La risposta è che la deliberazione viene raggiunta, a quanto sembra, disponendo di un sistema semplice ma potente che è in grado di fare le seguenti cose: in primo luogo, di avver-

tire stimoli che sono posti in modo innato come positivi e quindi costituiscono un rinforzo; in secondo luogo, di rispondere alla presenza (o alla mancanza) di ricompensa con una inclinazione che può influenzare il sistema motorio verso un particolare comportamento (ad esempio, posarsi o no), quando nel campo visivo si presenta la situazione che ha prodotto (o no) il rinforzo (ad esempio, un fiore di un certo colore). Di recente Montague, Dayan e Sejnowski hanno proposto un modello per tale sistema impiegando dati sia comportamentali sia neurobiologici.[11]

Le api hanno un sistema neurotrasmettitore non specifico che probabilmente fa uso di octopamina e che non è dissimile dal sistema della dopamina nei mammiferi. Quando viene avvertita la ricompensa (nettare), il sistema non specifico può mandare segnali sia al sistema visivo sia a quello motorio, e quindi modificarne il comportamento di base. Ne risulta che alla prossima occasione in cui si presenta alla vista il colore che era associato alla ricompensa (il giallo, supponiamo), il sistema motorio è incline al posarsi sul fiore giallo, ed è allora probabile che l'ape vi trovi il nettare. In effetti l'ape sta compiendo una scelta, non consapevolmente né deliberatamente, bensì impiegando un dispositivo automatico che incorpora valori naturali specifici – una preferenza. Secondo Real, devono essere presenti due aspetti fondamentali della preferenza: « Un guadagno atteso alto sarà preferito a un guadagno atteso basso; un rischio basso sarà preferito a un rischio alto ». Per inciso, considerata la piccola capacità di memoria dell'ape (che ha solo una memoria a breve termine, e nemmeno molto ampia), il campionamento sulla base del quale opera il sistema di preferenza deve essere estremamente

modesto. Basteranno, a quanto sembra, non più di tre visite.

Ancora, non voglio qui suggerire che tutte le nostre decisioni provengono da un cervello d'ape nascosto; ma è importante sapere che un dispositivo semplice come quello descritto può eseguire un esercizio così complicato.

Intuizione

Agendo a un livello conscio, gli stati somatici (o i loro surrogati) marcherebbero gli esiti delle risposte come positivi o negativi, e ciò condurrebbe a evitare o a perseguire, in modo deliberato, una data opzione di risposta. Ma essi possono anche operare in modo non manifesto, cioè fuori della coscienza. Le immagini esplicite relative a un esito negativo verrebbero, sì, generate; ma invece di produrre un cambiamento percepibile dello stato corporeo esse inibirebbero i circuiti neurali di regolazione siti nel nucleo del cervello, che mediano i comportamenti appetitivi, o di avvicinamento. Con l'inibizione della tendenza ad agire, o con l'effettiva intensificazione della tendenza a ritrarsi, verrebbero ridotte le possibilità di una decisione potenzialmente negativa. Quanto meno, si avrebbe un guadagno di tempo, durante il quale una deliberazione conscia potrebbe accrescere la probabilità di prendere una decisione appropriata – se non la più appropriata. Inoltre, potrebbe in definitiva essere eliminata un'opzione negativa, oppure una fortemente positiva potrebbe essere resa più probabile dall'intensificazione dell'impulso ad agire. Questo meccanismo celato sarebbe la fonte di ciò che noi chiamiamo intuizione: quel misterioso processo attraverso il quale arriviamo a risolvere un problema senza ragionarvi su.

Il ruolo dell'intuizione nel processo complessivo del decidere è bene espresso da un passaggio del

matematico Henri Poincaré, in pieno accordo con il quadro che io ho in mente:

« Infatti, che cos'è la creazione matematica? Essa non consiste nel produrre nuove combinazioni di entità matematiche già note; questa è cosa che chiunque potrebbe fare, ma le combinazioni così prodotte sarebbero in numero infinito, e per lo più prive di ogni interesse. Creare consiste esattamente nel non produrre combinazioni inutili e nel produrre quelle che sono utili, e che sono una piccola minoranza. L'invenzione è discernimento, scelta.

« Ho spiegato in precedenza come si operi tale scelta: i fatti matematici degni di essere studiati sono quelli che, in virtù della loro analogia con altri fatti, sono capaci di condurci alla conoscenza di una legge matematica, proprio come i fatti sperimentali ci portano alla conoscenza di una legge fisica. Sono quelli che ci rivelano parentele insospettate tra altri fatti, già noti da tempo, ma erroneamente creduti estranei gli uni agli altri.

« Tra le combinazioni scelte, le più feconde spesso saranno quelle formate da elementi tratti da domìni assai distanti. Non intendo, con questo, che per l'invenzione basti mettere assieme oggetti quanto più possibile disparati: la maggior parte delle combinazioni così formate sarebbe del tutto sterile. Ma alcune di queste combinazioni, molto rare, sono le più fruttuose.

« Ho detto che inventare è scegliere; ma il termine, forse, non è completamente esatto. Esso fa pensare a un acquirente dinanzi al quale si dispieghi un gran numero di esemplari e che li esamini, l'uno dopo l'altro, per operare una scelta. Nel nostro caso gli esemplari sarebbero così numerosi che non basterebbe una vita intera, per esaminarli tutti. In realtà le cose non stanno così. Le combinazioni sterili neppure si presentano, alla mente dell'inventore. Mai, nel dominio della sua coscienza, si manifestano combinazioni che non siano davvero utili, sal-

vo alcune che egli rigetta ma che hanno qualche apparenza di utilità. Le cose procedono come se l'inventore fosse un esaminatore di secondo grado, incaricato di interrogare soltanto i candidati che hanno già superato un precedente esame».[12]

La prospettiva di Poincaré è simile a quella da me suggerita. Non è necessario applicare il ragionamento all'intero campo delle possibili opzioni, poiché ha luogo una preselezione – a volte celata, a volte aperta. C'è un meccanismo biologico che effettua la preselezione, esamina i candidati e consente solo ad alcuni di presentarsi all'esame finale. E si noti che la mia proposta vale, prudenzialmente, per il dominio personale e per quello sociale (per i quali vi sono elementi a sostegno), anche se le parole di Poincaré suggeriscono che potrebbe essere estesa ad altri domini.

Qualcosa di analogo ha sostenuto il fisico e biologo Leo Szilard: «Lo scienziato creativo ha molto in comune con l'artista e con il poeta. Pensiero logico e capacità analitica sono attributi necessari dello scienziato, ma non bastano certo per un lavoro creativo. Nella scienza, le intuizioni che hanno portato a un progresso non sono logicamente derivate da conoscenze preesistenti: i processi creativi su cui si basa il progresso della scienza operano al livello del subconscio».[13] Jonas Salk ha sviluppato con solide argomentazioni il medesimo punto di vista, proponendo che la creatività poggi su un «amalgama di intuizione e ragione».[14]

Il ragionamento fuori del dominio personale e di quello sociale

Nel mio giardino, uno scoiattolo si arrampica su un albero per sfuggire al gatto nero del mio vicino; non ha ragionato molto, per agire così. Lo scoiattolo non ha pensato alle varie opzioni, per calcolare

costi e vantaggi di ciascuna; ha visto il gatto, è stato scosso da uno stato corporeo ed è balzato via. Lo guardo, mentre se ne sta tutto raccolto su un solido ramo del pino, e posso vedere che il cuore gli batte forte in petto, mentre la coda si muove a scatti, al ritmo nervoso della sua paura. Ha avuto una forte emozione e ora è sconvolto.

L'evoluzione è parsimonioso bricolage: nei cervelli di numerose specie, essa ha potuto disporre di meccanismi di decisione basati sul corpo e orientati alla sopravvivenza, che si sono dimostrati proficui in una varietà di nicchie ecologiche. Via via che aumentavano le contingenze ambientali e che si evolvevano nuove strategie di decisione, sarebbe stato economicamente giustificato che le strutture cerebrali occorrenti per tali nuove strategie mantenessero un legame funzionale con quelle che le avevano precedute. Il loro scopo (la sopravvivenza) è lo stesso, e sono gli stessi anche i parametri che ne controllano il funzionamento e ne misurano il successo: benessere, assenza di dolore. Numerosissimi esempi dimostrano che la selezione naturale opera proprio così: conservando ciò che funziona, selezionando altri dispositivi che possono fronteggiare una maggiore complessità, solo di rado facendo evolvere da zero meccanismi interamente nuovi.

È plausibile che un sistema adeguato a produrre marcatori e segnali per guidare le risposte « personali » e « sociali » sia stato cooptato per contribuire alle « altre » decisioni. L'apparato che vi aiuta a decidere chi assistere vi aiuterebbe anche a progettare una casa il cui scantinato non possa allagarsi. Naturalmente, non sarà necessario che i marcatori somatici siano percepiti come « sentimenti »; ma essi agirebbero ancora nascostamente – nella forma di un meccanismo di attenzione – per gettare luce su alcuni componenti piuttosto che su altri, e per controllare in effetti i segnali (« vai », « fermati », « cambia direzione ») necessari ad alcuni aspetti della pia-

nificazione e della decisione nei domìni non personale e non sociale. Questo sembra il tipo di marcatore generale che Tim Shallice ha proposto per la decisione, anche se egli non ha specificato un meccanismo neurofisiologico per i suoi marcatori (Shallice espone alcune considerazioni su una possibile somiglianza in un suo articolo recente).[15] La fisiologia sottostante potrebbe essere la stessa: segnalazione a base corporea, conscia o no, grazie alla quale è possibile mettere a fuoco l'attenzione.

In una prospettiva evoluzionistica, il più antico dispositivo di decisione attiene alla regolazione biologica di base; quello successivo, al regno personale e sociale; il più recente, a un insieme di operazioni astratte e simboliche tra le quali si possono trovare il ragionamento scientifico, quello artistico, quello utilitaristico-ingegneristico, gli sviluppi del linguaggio e della matematica. Ma anche se ere di evoluzione e di sistemi neurali dedicati possono conferire una certa indipendenza a ognuno di questi « moduli » di ragionamento/decisione, io credo che essi siano tutti interdipendenti. Quando vediamo segni di creatività negli esseri umani di oggi, stiamo probabilmente assistendo all'operare integrato di svariate combinazioni di tali dispositivi.

L'aiuto dell'emozione, per il meglio e per il peggio

Il lavoro di Amos Tversky e Daniel Kahneman dimostra che il ragionamento oggettivo da noi impiegato nelle decisioni quotidiane è assai meno efficace di quanto sembri, e di quanto dovrebbe essere.[16] Detto più alla buona, le nostre strategie di ragionamento sono difettose, e Stuart Sutherland tocca un tasto importante quando parla dell'irrazionalità come di un « nemico dentro ».[17] Ma anche se le nostre strategie di ragionamento fossero perfetta-

mente accordate, sembra che non potrebbero cavarsela troppo bene con l'incertezza e la complessità dei problemi personali e sociali. I fragili strumenti della razionalità hanno bisogno di un'assistenza speciale.

Peraltro, il quadro è anche più complicato di quanto io abbia esposto finora. Credo, certo, che per assistere la ragione « fredda » occorra un meccanismo basato sul corpo; ma è anche vero che alcuni di quei segnali a base corporea possono menomare la qualità del ragionamento. Riflettendo sulle ricerche di Kahneman e Tversky, vedo alcuni fallimenti della razionalità come dovuti non solo a una fondamentale debolezza di calcolo, ma anche all'influenza di impulsi biologici quali obbedienza, acquiescenza, il desiderio di preservare la stima di sé, che spesso si manifestano come emozioni e sentimenti. Ad esempio, la maggior parte delle persone ha più paura di volare che di andare in auto, a dispetto di ogni calcolo razionale del rischio, da cui risulta in modo inequivocabile come sia di gran lunga più probabile sopravvivere a un volo anziché a un viaggio in auto tra le due medesime città: c'è una differenza, a favore del volo, di svariati ordini di grandezza, e tuttavia la maggioranza si sente più sicura facendo quel viaggio in auto piuttosto che in aereo. Il ragionamento cade in difetto per quello che si chiama « errore di disponibilità » che, secondo il mio punto di vista, consiste nel permettere che l'immagine di un disastro aereo, con tutto il suo carico emotivo, domini il paesaggio del ragionamento, generando un'inclinazione negativa verso quella che è la scelta corretta. Questo esempio può sembrare in contrasto con il mio argomento principale; ma non è così. Esso mostra che emozioni e pulsioni biologiche possono, chiaramente, influenzare la decisione, e suggerisce che l'influenza « negativa » basata sul corpo, per quanto in disaccordo con le statistiche, è comunque orientata alla sopravvivenza: in-

fatti, è pur vero che ogni tanto qualche aereo precipita, e agli incidenti aerei sopravvivono meno persone che agli incidenti d'auto.

Ma se pulsioni biologiche ed emozione in alcune circostanze possono dare origine a irrazionalità, in altre esse sono indispensabili. Le pulsioni biologiche e i meccanismi automatici di marcatore somatico che su di esse si fondano sono essenziali per alcuni comportamenti razionali, soprattutto nel dominio personale e in quello sociale; d'altra parte a volte possono essere assai nocive a una decisione razionale, generando una forte inclinazione negativa verso fatti oggettivi, o anche interferendo con meccanismi di supporto della decisione, come la memoria operativa.

Un esempio tratto dalla mia esperienza personale contribuirà a chiarire ancora meglio quanto detto. Non molto tempo fa, venne nel nostro laboratorio un paziente con una lesione in posizione prefrontale ventromediana. Era una fredda giornata d'inverno, era caduta pioggia mista a neve e le strade erano coperte da una sottile patina di ghiaccio che rendeva assai rischiosa la guida. Così, quando egli fu arrivato, al volante della propria auto, gli chiesi se avesse avuto problemi a guidare su quel fondo stradale. La risposta fu pronta e serena: non aveva avuto problemi, non più del solito, salvo un po' di attenzione nel seguire le procedure che vanno osservate per la guida sul ghiaccio. Poi il paziente mi descrisse in breve alcune di tali procedure, opportune e razionali, e mi disse di aver visto che alcune automobili e alcuni camion erano finiti fuori strada per non averle seguite. Anzi, proprio la vettura che procedeva davanti alla sua era andata a finire in un fossato, dopo un paio di vistose sbandate, perché la guidatrice era capitata su un tratto ghiacciato, l'auto era slittata e la donna, invece di manovrare con dolcezza per evitare il testa-coda, si era fatta prendere

dal panico e aveva frenato bruscamente. Il mio paziente, invece, all'apparenza per nulla turbato dalla scena, aveva superato solo un istante dopo lo stesso tratto ghiacciato guidando con tutta calma e proseguendo senza alcun inconveniente; e con la medesima calma ora mi raccontava l'episodio.

Non v'è dubbio che in questo caso l'assenza di un meccanismo normale di marcatore somatico sia stata molto vantaggiosa. La maggior parte di noi avrebbe dovuto fare ricorso a una decisione deliberata e forzante per impedirsi di piantare una vigorosa frenata, per non provare panico – o una totale solidarietà nei confronti della sfortunata guidatrice davanti a noi. Quindi i meccanismi automatici di marcatore somatico possono anche essere molto perniciosi, per il nostro comportamento; in alcune circostanze, la loro assenza può essere vantaggiosa.

La scena ora si apre sul giorno successivo. Sto parlando con il medesimo paziente per fissare la sua prossima venuta in laboratorio, e gli suggerisco due date, a pochi giorni di distanza l'una dall'altra. Il paziente tira fuori l'agenda e comincia a scorrerla. Il comportamento che segue (e del quale possono testimoniare diversi ricercatori, che erano presenti alla scena) è straordinariamente interessante. Per quasi mezz'ora il mio paziente va avanti a elencare ragioni pro e contro la scelta dell'una o dell'altra data: precedenti impegni, altri appuntamenti in ora troppo ravvicinata a quella della visita, evoluzione delle condizioni meteorologiche – tutto, o quasi, quello che si potrebbe ragionevolmente pensare a proposito di un appuntamento. Con la stessa imperturbabilità mostrata guidando sul ghiaccio, e poi riferendo l'episodio al quale aveva assistito, egli ora ci conduce attraverso una spossante analisi costi/benefici, una descrizione interminabile e uno sterile confronto di opzioni e di possibili conseguenze. Ci vuole un enorme sforzo di autocontrollo per stare ad ascoltarlo senza picchiare un pugno sul tavolo e

gridargli di smetterla; alla fine, riusciamo a interromperlo e a suggerirgli, con calma, di venire nel secondo dei due giorni possibili. Con altrettanta calma, e con prontezza, egli risponde: « Va bene », si rimette in tasca l'agendina e se ne va.

Ecco un bell'esempio dei limiti della ragione pura; e anche un bell'esempio delle dannose conseguenze che comporta la mancanza di meccanismi automatici di decisione. Un meccanismo automatico di marcatore somatico sarebbe stato certo d'aiuto al paziente, e per diverse ragioni. Per cominciare, gli avrebbe consentito un migliore inquadramento generale del problema. Nessuno avrebbe speso tanto tempo a esaminare la questione, giacché un dispositivo automatico di marcatore somatico avrebbe aiutato a svelare la natura infruttuosa e troppo tollerante dell'esercizio; se non altro, ci saremmo resi conto di quanto fosse ridicolo il tutto. A un altro livello, avvertendo il possibile spreco di tempo, avremmo scelto una delle due date con un comportamento analogo al lancio di una moneta, o all'affidarsi alla sensazione del momento. Oppure avremmo potuto lasciare la decisione al nostro interlocutore, dicendogli che per noi non aveva alcuna importanza e che qualunque data da lui scelta sarebbe andata bene.

In breve, ci saremmo immaginati la perdita di tempo e l'avremmo marcata come negativa; ci saremmo immaginati l'opinione degli altri che ci attorniavano, e l'avremmo marcata come imbarazzante. V'è ragione di credere che il paziente si fosse formato qualcuno di questi « quadri » interni, ma che l'assenza di un marcatore impedisse di prestarvi attenzione e di considerarli nel modo dovuto.

Se vi state interrogando sulla stranezza di emozioni e pulsioni biologiche che possono essere benefiche e perniciose *assieme*, lasciatemi aggiungere che questo non sarebbe l'unico esempio, in biologia, in cui un dato fattore o meccanismo può risultare

negativo o positivo a seconda delle circostanze. Tutti sappiamo che l'ossido di azoto è tossico: può inquinare l'aria e avvelenare il sangue. Eppure il medesimo gas funziona da neurotrasmettitore, inviando segnali tra le cellule nervose. Un altro neurotrasmettitore, il glutammato, ci offre un esempio ancora più sottile. Lo si trova ovunque, nel cervello, dove viene impiegato da una cellula nervosa per eccitarne un'altra. Ma quando le cellule nervose vengono lese, come avviene in un colpo apoplettico, esse liberano glutammato in eccesso, che si diffonde nell'area circostante e quindi può provocare sovreccitazione delle innocenti cellule nervose sane tutt'intorno, fino a ucciderle.

In ultima analisi, la questione qui posta riguarda il tipo e l'entità della marcatura somatica apposta a differenti configurazioni del problema da risolvere. Il pilota di un aereo di linea che sta per atterrare in un aeroporto in un momento di traffico aereo molto intenso, e in cattive condizioni meteorologiche, non deve consentire che i sentimenti disturbino la sua attenzione ai particolari dai quali dipende la sua decisione. E tuttavia egli deve avere dei sentimenti, per tener fermi gli obiettivi più ampi del suo comportamento in quella particolare situazione: sentimenti connessi con il senso di responsabilità riguardo alla vita dei passeggeri e degli altri membri dell'equipaggio, riguardo alla propria vita e a quella della propria famiglia. Un eccesso di sentimento nella configurazione più ristretta o un difetto di sentimento in quella più allargata possono avere conseguenze disastrose. In un impaccio analogo può trovarsi un agente di borsa durante una contrattazione.

Ma lo studio più affascinante di questi aspetti è quello compiuto su Herbert von Karajan.[18] Gli psicologi austriaci G. e H. Harrer ebbero l'opportunità di osservare le risposte del sistema nervoso autono-

mo del celebre direttore in svariate circostanze: mentre atterrava all'aeroporto di Salisburgo con il suo jet, mentre dirigeva l'orchestra in uno studio di registrazione, mentre riascoltava il pezzo registrato (l'ouverture *Leonora*, n. 3, di Beethoven).

La prestazione musicale di von Karajan era punteggiata da ampi cambiamenti di risposta. La frequenza del polso arterioso aumentava più vistosamente durante i passaggi di forte impatto emotivo che durante quelli di reale sforzo fisico; il profilo di tale frequenza, rilevato mentre egli riascoltava la registrazione, era parallelo a quello rilevato durante l'esecuzione. L'atterraggio, invece, lo compì come in un sogno, e anche quando – aveva appena toccato il suolo – gli fu chiesto di effettuare un decollo di emergenza, con angolo di salita piuttosto elevato, la frequenza del polso aumentò di poco: assai meno che durante gli esercizi musicali. Il suo cuore era tutto nella musica, come doveva essere, e come io stesso ebbi modo di scoprire assistendo a un suo concerto. Proprio un istante prima che egli abbassasse la bacchetta per dare inizio a un'esecuzione della *Sesta* di Beethoven, io sussurrai alcune parole all'orecchio di mia moglie, che mi sedeva accanto. Von Karajan bloccò il movimento del braccio, si voltò e mi fulminò con lo sguardo. Peccato che nessuno abbia potuto rilevare, in quel momento, la frequenza del polso – sua e mia!

Accanto e oltre i marcatori somatici

Per quanto necessario possa essere qualcosa come il meccanismo del marcatore somatico al fine di costruire una neurobiologia della razionalità, è chiaro che ciò non lo rende sufficiente. Come ho già detto, *entra* in gioco la competenza logica, oltre i marcatori somatici. Inoltre, vi sono diversi processi che devono precedere, accompagnare o seguire a ruota i

marcatori somatici, per consentirne l'intervento. Quali sono questi processi? È possibile azzardare qualche ipotesi sul loro substrato neurale?

Cominciamo con il chiederci che cos'altro accade quando i marcatori somatici compiono – in modo visibile o celato – il loro lavoro di orientamento. Che cosa accade, nel cervello, per far sì che le immagini sulle quali ragionate siano mantenute per l'arco di tempo necessario? Torniamo a un problema accennato all'inizio di questo capitolo. Quando vi trovate di fronte a una decisione, ciò che domina il paesaggio della mente è il ricco, vasto dispiegamento di conoscenze sulla situazione che si genera per il fatto stesso di prenderla in esame. Vengono attivate, e messe a fuoco di continuo, immagini corrispondenti a miriadi di opzioni d'azione e a miriadi di esiti possibili. È presente anche, pronta a portarsi sotto i riflettori, la controparte linguistica di quelle entità e scene: le parole e le frasi che raccontano ciò che la vostra mente vede e ascolta. Questo processo si basa su una creazione continua di combinazioni di entità ed eventi, e sfocia in una giustapposizione riccamente diversificata di immagini, in accordo con la conoscenza precedentemente categorizzata. Jean-Pierre Changeux ha proposto la denominazione «generatori di diversità» per le strutture prefrontali che presumibilmente compiono questa funzione e portano al formarsi di un ampio repertorio di immagini in altri siti cerebrali. Il suggerimento è ben adeguato, poiché il generatore di diversità evoca i propri precursori immunologici, e inoltre dà luogo a un acronimo notevole [le iniziali di *generator of diversity*, in inglese, danno *god*, cioè dio].[19]

Questo generatore di diversità richiede un ampio deposito di conoscenza fattuale: sulle situazioni che possiamo trovarci a fronteggiare, sugli attori, su ciò che questi possono fare e sul modo in cui azioni diverse producono esiti diversi. La conoscenza fattuale viene categorizzata (i fatti che la costituiscono es-

sendo organizzati in classi, secondo certi criteri costitutivi) e la categorizzazione contribuisce alla decisione classificando tipi di opzioni, tipi di esiti e connessioni tra opzioni ed esiti. La categorizzazione, inoltre, ordina opzioni ed esiti con riferimento a qualche particolare valore. Di fronte a una certa situazione, la categorizzazione precedente ci permette di scoprire senza indugio se è probabile che una data opzione o esito siano vantaggiosi, o in qual modo contingenze diverse possano modificare l'entità del vantaggio.

Il processo di dispiegamento della conoscenza è possibile solo se sono soddisfatte due condizioni. In primo luogo, bisogna essere capaci di sollecitare i meccanismi dell'*attenzione di base*, che consentono di far permanere un'immagine mentale nella coscienza a scapito di altre; in termini neurali, ciò dipende, probabilmente, da un'esaltazione dello schema di attività neurale che sostiene una certa immagine, mentre la restante attività neurale tutt'attorno è indebolita.[20] In secondo luogo, bisogna possedere un meccanismo di *memoria operativa di base* che trattenga le immagini separate per un periodo relativamente « prolungato » di centinaia o migliaia di millisecondi (da qualche decimo di secondo fino a diversi secondi consecutivi).[21] Questo significa che il cervello ripete, nel tempo, le rappresentazioni topograficamente organizzate su cui poggiano quelle immagini separate. Qui, naturalmente, si pone una domanda importante: che cosa guida la memoria operativa e l'attenzione di base? La risposta non può che essere: i *valori di base*, cioè l'insieme delle preferenze di base intrinseche alla regolazione biologica.

Senza memoria operativa e attenzione di base non vi è prospettiva alcuna di un'attività mentale coerente, e anzi i marcatori somatici non possono proprio operare, poiché non vi è arena definita nella quale essi possano compiere la loro funzione. Co-

munque è probabile che memoria operativa e attenzione continuino a essere necessarie anche dopo che il meccanismo del marcatore somatico ha operato: sono necessarie per il processo di ragionamento, durante il quale si confrontano gli esiti possibili, si stabiliscono gerarchie di risultati e si compiono inferenze. Io suggerisco che uno stato somatico, negativo o positivo, causato dalla comparsa di una data rappresentazione, agisca non solo come *marcatore del valore di ciò che è rappresentato, ma anche come propulsore di attenzione e memoria operativa in attività.* I processi sono « rinvigoriti » da ogni segno indicante che è in corso una loro valutazione – positiva o negativa – in termini di obiettivi e preferenze del soggetto. Non è per miracolo che attenzione e memoria operativa vengono assegnate a un obiettivo e mantenute in attività: esse sono motivate innanzitutto da preferenze intrinseche all'organismo e poi da preferenze e obiettivi acquisiti sulla base delle preferenze intrinseche.

Con riferimento alle cortecce prefrontali, io suggerisco che i marcatori somatici, i quali agiscono sul dominio bioregolatore e sociale pertinente al settore ventromediano, influenzino l'agire dell'attenzione e della memoria operativa entro il settore dorsolaterale – quello dal quale dipendono le operazioni su altri domìni di conoscenza. Rimane in tal modo aperta la possibilità che i marcatori somatici influenzino l'attenzione e la memoria operativa anche entro lo stesso dominio bioregolatore e sociale.

In altre parole, negli individui normali i marcatori somatici che scaturiscono dall'attivazione di una contingenza particolare stimolano e sostengono l'attenzione e la memoria operativa lungo tutto il sistema cognitivo. Quando è lesa la regione ventromediana, tutte queste azioni saranno compromesse, in misura più o meno grande.

Vi sono quindi tre comprimari, nel processo di ragionamento, su un vasto paesaggio di scenari generati dalla conoscenza fattuale: *gli stati somatici automatizzati*, con i loro meccanismi che producono inclinazioni; *la memoria operativa*; *l'attenzione*. Tutti e tre questi attori interagiscono, e tutti e tre sembrano implicati nel critico problema di creare un ordine a partire da dispiegamenti spaziali paralleli. Il problema (riconosciuto per la prima volta da Karl Lashley) nasce perché il cervello è fatto in modo tale da permettere, in un qualsiasi momento, solo un tot limitato di esito mentale conscio e di esito di movimento.[22] Le immagini che costituiscono i nostri pensieri devono essere strutturate in « frasi », le quali a loro volta devono essere ordinate nel tempo « secondo proposizioni », così come i fotogrammi di movimento che costituiscono le nostre risposte esterne devono essere « messi in frasi » in un certo modo, e poi tali frasi devono essere disposte secondo un particolare ordine « di proposizione », perché un atto motorio abbia l'effetto voluto. La scelta dei fotogrammi che alla fine comporranno le « frasi » e le « proposizioni » della nostra mente e dei nostri movimenti viene fatta su un ventaglio di possibilità in parallelo. E siccome sia il pensiero sia il movimento richiedono un'elaborazione coordinata e simultanea, l'organizzazione di più sequenze ordinate deve procedere in continuo.

Sia che si concepisca la ragione come basata sulla selezione automatica, sia che la si concepisca come basata su una deduzione logica mediata da un sistema simbolico, oppure ancora – e meglio – su entrambi, non si può ignorare il problema dell'ordine. La mia soluzione è la seguente: 1) se va creato un ordine tra le possibilità disponibili, allora queste devono essere classificate; 2) per classificarle occorrono certi criteri (valori o preferenze sono termini

equivalenti); 3) i criteri sono forniti dai marcatori somatici i quali esprimono, in un momento dato, le preferenze cumulative che noi abbiamo sia ricevuto sia acquisito.

E in qual modo i marcatori somatici funzionano come criteri? Una possibilità è che quando marcatori somatici differenti vengono giustapposti a differenti combinazioni di immagini, essi modifichino il modo in cui il cervello le tratta, e operino così come orientatori. Tale azione di orientamento potrebbe potenziare in misura diversa l'attenzione destinata a ogni componente, con la conseguenza di una assegnazione automatica di gradi di attenzione diversi a contenuti diversi, e quindi del formarsi di un paesaggio disuguale. Così, per esempio, il punto focale dell'elaborazione conscia potrebbe essere spostato da un componente a un altro, in accordo con la loro posizione in una classifica. Ma perché tutto questo avvenga i componenti devono rimanere dispiegati per un intervallo di tempo dell'ordine delle centinaia – o poche migliaia – di millisecondi, in configurazione relativamente stabile; e questo è il compito della memoria operativa. (Ho trovato qualche conferma di questa idea generale in alcuni recenti studi di William T. Newsome e collaboratori sulla neurofisiologia della decisione percettiva: un cambiamento dell'equilibrio dei segnali applicati a una particolare popolazione di neuroni rappresentativa di un particolare contenuto si è tradotto in una « decisione » a favore di quel contenuto, secondo un meccanismo apparentemente del tipo « chi vince prende tutto »).[23]

La cognizione e il movimento normali richiedono l'organizzazione di sequenze interattive in concorso. Dove occorre ordine occorre decisione, e dove occorre decisione deve esservi un criterio che permetta di decidere. Dal momento che molte decisioni hanno un'influenza sul futuro di un organismo, è plausibile che alcuni criteri siano radicati, diretta-

mente o indirettamente, nelle pulsioni biologiche dell'organismo (le sue ragioni, per dir così). Queste possono essere espresse in modo manifesto o celato, e possono essere usate per orientare un marcatore, dietro intervento dell'attenzione, in un campo di rappresentazioni che la memoria operativa mantiene attivo.

Per la maggior parte di noi, abbastanza fortunati da essere stati allevati in una cultura relativamente ricca, il dispositivo automatico del marcatore somatico è stato conformato, dall'istruzione, agli standard di razionalità propri di tale cultura. Nonostante abbia radici nella regolazione biologica, il dispositivo è stato accordato alle prescrizioni culturali intese ad assicurare la sopravvivenza in una particolare società. Supposto che il cervello sia normale e che la cultura in cui esso si sviluppa sia una cultura florida, il dispositivo è stato reso razionale rispetto all'etica e alle convenzioni sociali.

Per la razionalità, l'azione di pulsioni biologiche, stati corporei ed emozioni può essere un fondamento indispensabile. I livelli più bassi dell'edificio neurale della ragione sono gli stessi che regolano l'elaborazione di emozioni e sentimenti, insieme con le funzioni globali del corpo, in modo che l'organismo possa sopravvivere. Questi livelli inferiori mantengono relazioni mutue e dirette con il corpo, ponendolo così all'interno della catena di operazioni che consentono alla ragione e alla creatività le conquiste più alte. È probabile che la razionalità sia foggiata e modulata da segnali corporei, anche quando essa compie le distinzioni più sublimi e agisce di conseguenza.

David Hume, il quale era ben consapevole del valore delle emozioni, potrebbe non dissentire da queste affermazioni; e Pascal, il quale affermò che « il cuore ha le sue ragioni, che la ragione non conosce », avrebbe giudicato plausibile quanto detto

finora;[24] ma io vorrei modificare il suo enunciato, in questo modo: *l'organismo ha alcune ragioni che la ragione deve utilizzare*. Non vi è dubbio che il processo continui oltre le ragioni del cuore. Da un lato, usando gli strumenti della logica possiamo controllare la fondatezza delle scelte che le nostre preferenze ci hanno aiutato a fare. D'altro lato, possiamo andare oltre usando le strategie di deduzione e di induzione in proposizioni linguistiche facilmente disponibili. (Quando avevo già completato la stesura di questo libro mi sono imbattuto in svariate voci che si accordano con quanto io sostengo. J.St.B.T. Evans di recente ha suggerito che esistono due tipi di razionalità, in larga misura relativi ai due domìni da me indicati, quello personale/sociale e l'altro; il filosofo Ronald De Sousa ha sostenuto che le emozioni siano intrinsecamente razionali; P.N. Johnson-Laird e Keith Oatley hanno avanzato l'ipotesi che le emozioni di base contribuiscano a fare agire in modo razionale).[25]

PARTE TERZA

9

L'IPOTESI DEL MARCATORE SOMATICO ALLA PROVA

Sapere ma non sentire

Per approfondire l'ipotesi del marcatore somatico cominciai con il considerare le risposte del sistema nervoso autonomo, in una serie di studi fatti insieme con Daniel Tranel (il quale è uno psicofisiologo e un neurofisiologo sperimentale). Il sistema nervoso autonomo è costituito da centri di controllo propri, situati entro il sistema limbico e il midollo allungato (l'amigdala è il primo esempio che viene in mente), e da proiezioni di neuroni che si dipartono da quei centri in direzione dei visceri, per tutto l'organismo. Sono innervati da terminali provenienti dal sistema nervoso autonomo tutti i vasi sanguigni, anche quelli racchiusi nello spessore della pelle (che è l'organo del corpo avente maggiore estensione); lo stesso vale per il cuore, i polmoni, l'intestino, la vescica e gli organi della riproduzione. Anche un organo come la milza, che ha a che fare per lo più con l'immunità, è innervato dal sistema nervoso autonomo.

Le ramificazioni di tale sistema sono strutturate in due grandi suddivisioni (il sistema nervoso simpatico e quello parasimpatico) ed esse si dipartono dal

midollo allungato e dal midollo spinale, talvolta procedendo in parallelo con le ramificazioni del sistema non autonomo. (L'attività della divisione simpatica e quella della divisione parasimpatica sono mediate da neurotrasmettitori diversi e sono in larga misura antagonistiche: per esempio, se l'una stimola la contrazione dei muscoli lisci, l'altra ne stimola il rilassamento). I fasci nervosi autonomi di ritorno, che portano al sistema nervoso centrale i vari segnali riguardanti lo stato dei visceri, tendono a seguire le medesime vie.

Nella prospettiva dell'evoluzione, sembra che il sistema nervoso autonomo sia stato il mezzo neurale con cui il cervello di organismi assai meno complessi di noi interveniva nella regolazione della loro economia interna. Quando la vita consisteva per lo più nell'assicurare l'equilibrata funzione di pochi organi, e quando il tipo e il numero di interazioni con l'ambiente circostante era limitato, il sistema endocrino e quello immunitario governavano la più parte di ciò che vi era da governare. Quel che il cervello richiedeva era qualche segnale riguardo allo stato dei vari organi, e insieme un mezzo per modificare tale stato in presenza di particolari circostanze esterne. Il sistema nervoso autonomo forniva proprio questo: una rete entrante per segnalare i cambiamenti dei visceri e una rete uscente per i comandi motori diretti a quei visceri. In seguito l'evoluzione diede luogo a forme più complesse di risposta motoria, come quelle che alla fine controllavano le mani, o l'apparato vocale. Tali risposte richiesero una differenziazione via via più complessa del sistema motorio periferico, che lo mettesse in grado di controllare il minuto operare di muscoli e articolazioni, e anche segnalare contatto, temperatura, dolore, posizione delle articolazioni, grado di contrazione della muscolatura.

Si ricordi che l'idea di marcatore somatico abbraccia un cambiamento totale dello stato corporeo,

comprendente modificazioni sia dei visceri sia del sistema muscoloscheletrico che sono indotte da segnali neurali e da segnali chimici – anche se il componente viscerale sembra in qualche misura più critico di quello muscoloscheletrico, nella costruzione degli stati emotivi e di fondo. Per cominciare a indagare sperimentalmente la nostra ipotesi, abbiamo dovuto scegliere alcuni aspetti, in questo ampio panorama di cambiamenti, ed è parso sensato cominciare con lo studio delle risposte del sistema nervoso autonomo. In fin dei conti, quando generiamo lo stato somatico che caratterizza una certa emozione, è proprio il sistema nervoso autonomo, probabilmente, la chiave per raggiungere l'appropriata modificazione dei parametri fisiologici del corpo (sebbene nello stesso tempo vengano attivate vie chimiche importanti).

Tra le varie risposte del sistema nervoso autonomo che è possibile analizzare in laboratorio, la più utile è forse quella relativa alla conduttanza cutanea: è facile da suscitare, è affidabile ed è stata ampiamente studiata dagli psicofisiologi in individui normali di diverse età e culture. (Sono state studiate anche la frequenza cardiaca e la temperatura corporea). Un paio di elettrodi collegati alla pelle e un poligrafo consentono di registrare tale risposta senza alcun fastidio o dolore per il soggetto. Il principio di base è il seguente: quando il corpo comincia a cambiare, dopo un dato pensiero o percetto, e quando comincia a instaurarsi uno stato somatico correlato (per esempio, quello di una certa emozione), il sistema nervoso autonomo provoca un lieve aumento della secrezione di fluido nelle ghiandole sudoripare della pelle, tanto piccolo da non essere percepibile a occhio nudo, né avvertibile dai sensori neurali della pelle, e tuttavia sufficiente a ridurre la resistenza opposta al passaggio di una corrente elettrica. Quindi, per misurare la risposta, lo sperimentatore fa passare nella pelle, tra due elettrodi rileva-

tori, una corrente elettrica a bassa tensione. La risposta è rappresentata da un cambiamento della intensità di corrente che passa; viene registrata sotto forma di un'onda, della quale è possibile misurare l'ampiezza (espressa in microsiemens) e l'andamento nel tempo; è possibile misurare anche la frequenza con la quale si manifestano le risposte a un certo stimolo, in un intervallo di tempo prefissato.

La psicofisiologia sperimentale si è ampiamente servita dello studio di questa particolare risposta, che ha avuto un impiego pratico – spesso controverso – nelle prove con la cosiddetta macchina della verità (il cui scopo è manifestamente diverso da quello dei nostri esperimenti). In questi casi si vuole determinare se un soggetto sta mentendo, spingendolo con raggiri a negare di conoscere una data persona o oggetto: ciò provoca una risposta – non volontaria – della conduttanza cutanea.

Nel nostro studio, ci siamo ripromessi innanzitutto di scoprire se pazienti come Elliot potessero ancora generare risposte di questo tipo, cioè se il loro cervello fosse ancora capace di innescare un cambiamento dello stato somatico. Perciò abbiamo messo a confronto pazienti colpiti da lesioni al lobo frontale con soggetti normali e con pazienti che presentavano lesioni localizzate in altri punti del cervello. Sapevamo che le condizioni sperimentali prescelte potevano suscitare una risposta della conduttanza cutanea in modo coerente e quindi indicare la condizione normale dell'apparato neurale implicato in tale risposta. Una di tali condizioni è nota come *startle* [sobbalzo] e consiste nel sorprendere il soggetto con un rumore inatteso (ad esempio battendo d'improvviso le mani alle sue spalle) o con un lampo di luce (prodotto ad esempio con una lampada stroboscopica). Ma anche un semplice atto fisiologico come tirare un respiro profondo può essere un buon indicatore.

Non ci occorse molto tempo per verificare che

tutti i soggetti con lesioni al lobo frontale rispondevano altrettanto bene quanto i soggetti normali o i pazienti con altre lesioni cerebrali. In altre parole, sembrava che in quei pazienti nulla di essenziale fosse stato alterato nell'apparato neurale che suscita la risposta della conduttanza cutanea.

Ci chiedemmo allora se essi avrebbero manifestato una risposta a uno stimolo che richiedesse una valutazione del contenuto emotivo. Questa era per noi una domanda importante, perché in pazienti come Elliot era stata menomata l'esperienza dell'emozione e perché da studi condotti in precedenza su soggetti normali sapevamo che, quando siamo esposti a stimoli con forte contenuto emotivo, questi producono una marcata risposta della conduttanza cutanea. Generiamo tali risposte quando assistiamo a scene di orrore o di dolore fisico, o quando vediamo fotografie di tali scene, o immagini di esplicito contenuto sessuale. Si può considerare la risposta della conduttanza cutanea come una parte minuscola, impercettibile, di uno stato somatico che, se si dispiegasse in modo completo, darebbe un senso avvertibile di eccitamento e di *arousal* (la pelle d'oca, in alcuni individui). Ma è importante rendersi conto che siccome i cambiamenti della conduttanza cutanea sono solo una parte della risposta dello stato corporeo, la loro presenza non assicura che alla fine si avvertirà un forte cambiamento di tale stato. Sembra però vero questo: chi non manifesta una risposta di conduttanza cutanea, sembra che non avrà mai lo stato corporeo conscio che è tipico di un'emozione.

L'esperimento fu allestito scegliendo, per i tre gruppi, soggetti confrontabili per età e per livello di istruzione. Veniva proiettata loro una serie di diapositive mentre se ne stavano comodamente seduti in poltrona, collegati a un poligrafo, senza far nulla e senza dire nulla. Molte delle diapositive erano assolutamente banali (scene anonime o disegni astratti), ma di tanto in tanto, e secondo un ordine casua-

le, veniva presentata una diapositiva con una scena capace di turbarli. L'esperimento andava avanti finché restavano diapositive da vedere – e ce n'erano centinaia. Prima che la proiezione cominciasse, ai soggetti era stato raccomandato di stare attenti perché in seguito, durante una fase dedicata ai commenti, sarebbe stato chiesto loro di riferire che cosa avevano visto, come si erano sentiti e anche *quando* avevano visto determinate immagini, rispetto all'intero periodo della proiezione.

I risultati furono univoci.[1] I soggetti che non presentavano lesioni frontali (sia gli individui normali sia i soggetti con lesioni cerebrali che non toccavano i lobi frontali) produssero un'abbondanza di risposte di conduttanza cutanea alle immagini disturbanti ma non a quelle banali. Al contrario, i pazienti con lesioni ai lobi frontali non manifestarono *alcuna* risposta: i tracciati delle loro registrazioni erano piatti (fig. 9.1).

Prima di saltare a una conclusione, decidemmo di ripetere l'esperimento con altri soggetti e altre immagini, e anche di ripeterlo con gli stessi soggetti, dopo qualche tempo. Di nuovo, posti nella condizione passiva descritta in precedenza, furono i soggetti con lesioni frontali quelli che non diedero alcuna risposta alle immagini disturbanti, anche se in seguito essi furono in grado di discutere nei particolari il contenuto delle diapositive, e anche di ricordare in quale fase della seduta di proiezione erano comparse sullo schermo certe diapositive. Furono capaci di descrivere a parole la paura, la ripugnanza o la tristezza connesse alle immagini viste, e anche di dire quanto prima (o dopo) di un'altra era comparsa una certa immagine, e in quale momento della proiezione. Non vi poteva essere dubbio: questi soggetti erano stati ben attenti, avevano compreso il contenuto delle immagini e i concetti in esse rappresentati erano loro accessibili a vari livelli; essi sapevano non solo che una data immagine mostra-

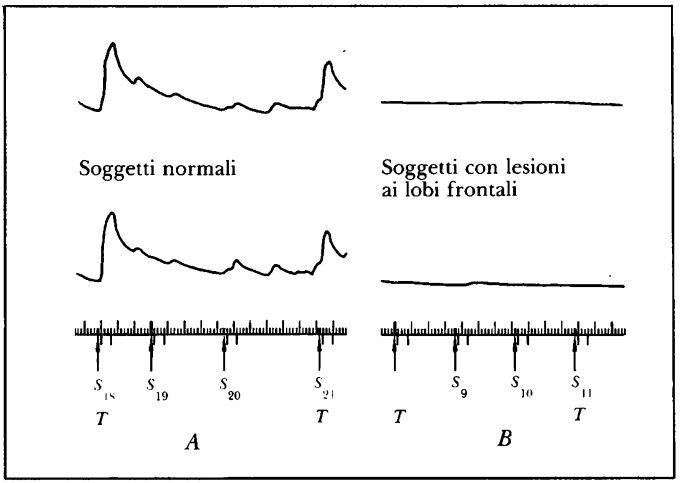

Fig. 9.1 Andamento della risposta di conduttanza cutanea, in soggetti normali, di controllo, senza lesioni cerebrali (*A*), e in soggetti con lesioni ai lobi frontali (*B*), rilevata durante l'esposizione a una sequenza di immagini delle quali alcune avevano un forte contenuto emotivo. (Nel diagramma tali immagini sono individuate dalla lettera *T* – per *target*, bersaglio – posta sotto il particolare stimolo, numerato). I soggetti normali mostrano una risposta forte subito dopo aver visto le immagini « emotive », ma non dopo quelle « neutre »; i pazienti con lesioni frontali non rispondono né alle une né alle altre.

va, ad esempio, un omicidio, ma anche che il modo in cui l'omicidio era rappresentato conteneva un elemento di orrore, o che bisognava rattristarsi per la vittima e rammaricarsi che una simile situazione si fosse potuta presentare. In altre parole, un dato stimolo aveva prodotto una copiosa evocazione di conoscenze pertinenti, nella mente dei soggetti frontali sottoposti all'esperimento. E tuttavia, a differenza dei soggetti di controllo, i pazienti con lesioni frontali non avevano manifestato una risposta di conduttanza cutanea. Analizzate, le differenze si rivelarono molto significative.

Durante una delle primissime interviste di commento, un paziente ci confermò, in modo spontaneo e con intuito perfetto, che quel che mancava non era solo la risposta della pelle. Egli notò che dopo aver visto tutte le diapositive non era affatto turbato, anche se il contenuto di alcune di esse – se ne rendeva conto – avrebbe dovuto turbarlo. Si consideri l'importanza di questa rivelazione. Avevamo di fronte un essere umano a conoscenza sia del significato manifesto di quelle immagini sia del loro implicito significato emotivo, ma consapevole anche del fatto che egli non « sentiva » nel modo in cui sapeva di essere solito sentire (e in cui forse « si supponeva » che egli sentisse?) riguardo a tale significato implicito. Il paziente ci stava dicendo che la sua carne non rispondeva più a questi argomenti come una volta aveva risposto; che *sapere non significa necessariamente sentire*, anche quando vi rendete conto che quel che sapete dovrebbe farvi sentire in un certo modo, ma non lo fa.

Più di qualsiasi altro risultato, fu la insistita mancanza di risposta della conduttanza cutanea (unita all'assenza di sentimenti attestata da pazienti con lesioni frontali) a convincerci che valeva la pena di continuare a perseguire l'ipotesi del marcatore somatico. In effetti, sembrava che la conoscenza di quei pazienti fosse disponibile in tutta la sua portata ed estensione, eccetto la conoscenza disposizionale che accoppia un particolare evento con il meccanismo capace di ripristinare una risposta emotiva. In assenza di tale legame automatico, i pazienti erano in grado di evocare internamente una conoscenza fattuale ma non di produrre uno stato somatico – o, almeno, non uno stato somatico di cui fossero consapevoli. Potevano avvalersi di una gran copia di conoscenza fattuale, ma non fare esperienza di un sentimento – vale a dire, la « conoscenza » di come i loro corpi dovrebbero comportarsi con riferimento alla conoscenza fattuale evocata. E dal momento

che in precedenza tali soggetti erano stati normali, essi potevano rendersi conto che il loro stato mentale complessivo non era come sarebbe dovuto essere, che mancava qualcosa.

Nel complesso, i test di risposta della conduttanza cutanea ci fornirono una controparte fisiologica misurabile della osservabile riduzione di risonanza emotiva che già avevamo rilevato in questi pazienti, e della riduzione di sentimenti che essi stessi avvertivano.

Rischiare: gli esperimenti con giochi d'azzardo

Un'altra via di verifica sperimentale si fondava su una prova studiata da Antoine Bechara, un giovane laureato che seguiva un corso di perfezionamento nel mio laboratorio. Frustrato (come tutti i ricercatori) dalla natura artificiosa della maggior parte delle prove sperimentali che si compiono in neuropsicologia, egli voleva sviluppare un mezzo il più « realistico » possibile per valutare la capacità di decisione. Così egli escogitò (e in seguito perfezionò, assieme a Hanna Damasio e Steven Anderson) una serie di brillanti prove che nel nostro laboratorio vanno sotto il nome – scontato – di « esperimenti con giochi d'azzardo »,[2] e sono quanto di più lontano si possa immaginare dalle noiose manipolazioni in genere imposte da esperimenti analoghi. L'ambientazione è assai colorita, pazienti e soggetti normali si divertono a sottoporvisi e la natura stessa della ricerca così compiuta favorisce il verificarsi di episodi divertenti. Mi ricordo ancora l'espressione di un mio illustre visitatore il quale, dopo avere fatto un giro per il laboratorio, ed essere passato accanto a una stanza dove era in corso un test, ritornò nel mio ufficio con gli occhi fuori dalle orbite e la mandibola penzoloni per lo stupore e mi bisbigliò: « C'è gente che gioca a carte, qui! ».

Nell'esperimento di base, il soggetto (chiamato «il giocatore») è seduto a un tavolo sul quale sono disposti, di fronte a lui, quattro mazzi di carte, rispettivamente contrassegnati *A*, *B*, *C* e *D*. Gli vengono dati in prestito 2000 dollari (falsi, ma perfettamente simili a quelli veri) e gli si comunica lo scopo del gioco: egli deve perdere il meno possibile della somma assegnatagli all'inizio e guadagnare quanto più possibile denaro extra. Il gioco consiste nello scoprire in successione le carte, una per volta, da uno qualsiasi dei quattro mazzi, fino a che lo sperimentatore non interrompe la prova; quindi il giocatore non sa quante carte dovrà voltare in totale. Inoltre, lo si informa che ogni carta voltata gli farà guadagnare del denaro, ma di tanto in tanto a questo guadagno si accompagnerà l'obbligo di pagare una certa somma. Egli però non sa, quando comincia a giocare, né quanto guadagnerà o perderà per una data carta, né l'ordine di comparsa delle carte; ignora anche la relazione tra le carte e uno dei quattro mazzi. Solo dopo che una carta è stata voltata si svela quanto ha guadagnato, o quanto dovrà pagare. Inoltre, il giocatore non sa quanto ha guadagnato o perduto a un dato momento, e non può tenerne registrazione scritta.

Voltare una carta del mazzo *A* o *B* frutta la bella somma di 100 dollari, mentre voltarne una dal mazzo *C* o *D* ne frutta solo 50. Però alcune carte del mazzo *A* o del mazzo *B*, del tutto imprevedibilmente, richiedono da parte del giocatore un pagamento molto forte, fino a un massimo di 1250 dollari, mentre alcune carte del mazzo *C* o del mazzo *D* possono comportare anch'esse un pagamento, ma di somme decisamente inferiori: meno di 100 dollari, in media. Queste regole, non rivelate al giocatore, non vengono cambiate mai. Inoltre, sempre senza che il giocatore lo sappia, la prova termina dopo che sono state voltate 100 carte. In partenza il giocatore non ha modo di prevedere che cosa accadrà,

e nemmeno può riuscire a tenere a mente un computo preciso di guadagni e perdite, via via che il gioco procede: proprio come nella vita, in cui buona parte della conoscenza grazie alla quale viviamo e costruiamo il nostro futuro adattativo ci viene distribuita con parsimonia, frammento dopo frammento, mentre l'esperienza aumenta e l'incertezza domina. La nostra conoscenza (come quella del giocatore) è foggiata sia dal mondo con il quale interagiamo sia dalle spinte intrinseche al nostro organismo: per esempio il fatto che preferiamo il guadagno alla perdita, la ricompensa alla punizione, un rischio moderato a un rischio forte.

È interessante osservare come si comportano, nell'esperimento, gli individui normali. Essi cominciano con il saggiare ognuno dei quattro mazzi, in cerca di indizi e di regolarità. Poi, forse allettati dall'esperienza degli alti guadagni possibili, mostrano in genere una prima preferenza per i mazzi *A* e *B*; ma gradualmente, nel giro delle prime trenta mosse, spostano la preferenza verso i mazzi *C* e *D* e si attengono a questa strategia fino al termine della prova. Alcuni giocatori che si dichiarano amanti del rischio possono occasionalmente tornare a saggiare i mazzi *A* e *B*, ma solo per riportarsi in breve alla linea d'azione che appare più prudente.

I giocatori non hanno modo di effettuare un calcolo preciso di guadagni e perdite; invece a poco a poco si fa strada in loro l'impressione che alcuni mazzi (e precisamente l'*A* e il *B*) siano più « pericolosi » di altri. Si potrebbe dire che essi intuiscano come le più basse penalizzazioni collegate ai mazzi *C* e *D* consentiranno loro di vincere, a lungo andare, sebbene il guadagno iniziale sia più modesto. Io sospetto che prima e al di sotto dell'impressione conscia vi sia un processo non conscio che gradualmente formula una previsione per l'esito di ogni mossa e gradualmente dice al giocatore attento (dapprima in modo sommesso, ma poi sempre più forte) che se

farà una certa mossa ne avrà una ricompensa o una punizione. In breve, io non credo che si tratti di un processo interamente conscio, o interamente non conscio; sembra invece che, quando un cervello ben accordato prende una decisione, operino entrambi i tipi di elaborazione.

Il comportamento dei pazienti con lesioni frontali ventromediane fu illuminante: quel che essi facevano nel test con le carte assomigliava a quello che spesso avevano fatto nella vita quotidiana dopo aver subìto la lesione cerebrale, mentre differiva da quello che avrebbero fatto prima della lesione. Il loro comportamento era diametralmente opposto a quello degli individui normali.

Dopo un primo campionamento generale, i pazienti con lesioni frontali sistematicamente voltavano più carte prese dai mazzi *A* e *B*, e sempre meno carte prese dai mazzi *C* e *D*. In tal modo, le penalità che erano costretti a pagare erano così forti che, nonostante ricevessero una cifra più alta per ogni carta presa dal mazzo *A* o dal mazzo *B*, verso la metà del test avevano dato fondo alla somma ricevuta all'inizio e dovevano chiedere un altro prestito allo sperimentatore. Anche Elliot fu sottoposto all'esperimento, e nel suo caso questo comportamento è tanto più degno di nota in quanto egli continua a definirsi una persona avveduta, poco propensa a rischiare, mentre anche gli individui normali che si definivano amanti del rischio, giocatori d'azzardo, si comportavano in modo assai diverso, con grande cautela. Per di più, alla fine del test Elliot sapeva quali mazzi di carte fossero pericolosi e quali no; eppure, quando alcuni mesi dopo l'esperimento venne ripetuto, con altre carte e altri contrassegni per i mazzi, Elliot continuò a comportarsi come faceva nella vita quotidiana, cioè perseverando nell'errore.

Questo è il primo test di laboratorio che abbia

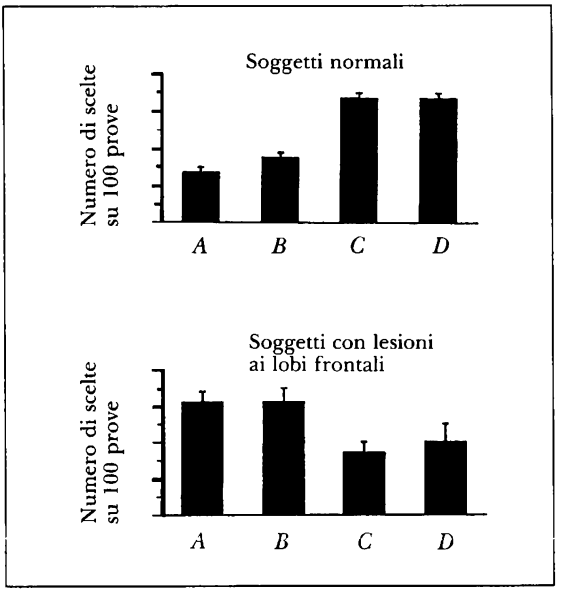

Fig. 9.2 Istogrammi che mostrano i risultati del test con le carte da gioco. I soggetti normali, di controllo, preferiscono i mazzi *C* e *D*; al contrario i pazienti con lesioni ai lobi frontali preferiscono i mazzi *A* e *B*. Le differenze sono significative.

consentito di misurare una controparte delle travagliate scelte quotidiane di Phineas Gage. Sottoposti alla medesima prova, pazienti con lesioni ai lobi frontali il cui comportamento – e le cui lesioni – sono confrontabili con quelli di Elliot hanno fornito prestazioni simili (fig. 9.2).

Ma perché questo test dovrebbe avere successo là dove altri falliscono? Probabilmente perché esso è una buona imitazione della vita: viene eseguito in tempo reale, e assomiglia ai veri giochi di carte; include esplicitamente ricompense e punizioni, come pure valori espressi in moneta; impegna il soggetto in una ricerca di vantaggi, presenta dei rischi; offre

delle scelte ma non dice come, quando o che cosa scegliere. È carico di incertezze, ma la sola via per ridurle al minimo è quella di produrre, con qualsiasi mezzo sia disponibile, impressioni e stime di probabilità, dal momento che non si può fare alcun calcolo preciso.

Dietro questo comportamento operano meccanismi neuropsicologici affascinanti, soprattutto nel caso dei pazienti con lesioni frontali. Elliot era manifestamente preso dal compito: attentissimo, collaborativo, interessato all'esito. Di fatto, egli voleva *vincere*. Che cos'era che lo faceva scegliere in modo così disastroso? Come per gli altri suoi comportamenti, non possiamo invocare né penuria di conoscenze né mancanza di comprensione della situazione. Le premesse per una scelta non venivano mai meno, lungo il procedere del gioco. Quando perse 1000 dollari, Elliot se ne rese ben conto, e infatti pagò la somma all'esaminatore; e tuttavia continuò a scegliere i mazzi che davano 100 dollari, il che lo portava in perdita ogni volta che era penalizzato. E nemmeno si può pensare che dopo un po' il gioco imponesse un carico aggiuntivo alla sua memoria, poiché il susseguirsi dei risultati sfavorevoli o positivi veniva reso esplicito, in genere. Via via che le loro perdite si accumulavano, Elliot e gli altri pazienti con lesioni frontali dovevano ricorrere a prestiti, che costituivano la prova esplicita del cattivo andamento della partita; ma essi insistevano nell'operare le scelte meno vantaggiose, per un tempo più lungo rispetto a quello rilevato in qualsiasi altro gruppo di soggetti – inclusi diversi pazienti con lesioni cerebrali non interessanti i lobi frontali.

I pazienti che presentano vaste lesioni cerebrali localizzate in altri punti (per esempio all'esterno dei settori prefrontali) possono dare, nella prova, le stesse prestazioni di soggetti normali, purché siano in grado di vedere e di comprendere le istruzioni. Questo è vero anche per soggetti con menomazioni

del linguaggio. Una paziente affetta da grave deficit della capacità di denominazione, provocato da disturbi alla corteccia temporale sinistra, eseguì il test continuando per tutta la durata della prova a lamentarsi a voce alta, nel suo linguaggio spezzato dall'afasia, che non vedeva alcun senso in quel che faceva. E tuttavia il profilo della sua prestazione risultò impeccabile: senza alcuna esitazione scelse sempre ciò che la sua razionalità perfettamente integra la portava a scegliere.

Che cosa poteva essere accaduto, nei cervelli dei soggetti con lesioni frontali? Proviamo a considerare un elenco di possibili meccanismi alternativi:

1) questi soggetti non sono più sensibili alla punizione come i soggetti normali, ma reagiscono solo alla ricompensa;

2) sono diventati talmente sensibili alla ricompensa che la sola presenza di questa basta perché essi trascurino la punizione;

3) sono ancora sensibili a ricompensa e punizione, ma né l'una né l'altra contribuiscono al marcamento automatico o al dispiegamento prolungato di previsioni di esiti futuri, cosicché risultano favorite le opzioni immediatamente premianti.

Mentre tentava di orientarsi tra queste possibilità, Antoine Bechara mise a punto una prova diversa, modificata per l'inversione tra ricompensa e punizione. Ora si aveva per prima la punizione, poiché ogni carta voltata comportava il pagamento di una somma (più grande per le carte del primo mazzo che per quelle del secondo) mentre di tanto in tanto arrivava la ricompensa. Come nella prima prova, anche in questa due mazzi davano un guadagno e due davano una perdita. In questa nuova prova Elliot si comportò come i soggetti normali; lo stesso accadde con gli altri pazienti colpiti da lesioni ai lobi frontali. Perciò bisognava scartare l'idea che Elliot e gli altri pazienti con lesioni frontali fossero semplicemente insensibili alla punizione.

In questo senso andava anche l'analisi qualitativa delle prestazioni dei pazienti nella prima prova. I profili delle loro risposte mostravano che, subito dopo aver dovuto pagare, i pazienti evitavano il mazzo dal quale avevano pescato la carta penalizzante, e lo stesso facevano i soggetti normali; a differenza dei soggetti normali, però, subito dopo i pazienti tornavano al mazzo « cattivo ». Se ne desume che i pazienti erano ancora sensibili alla punizione, ma che gli effetti di questa non si protraevano per molto, probabilmente perché la punizione non era connessa con l'abbozzo di elementi di previsione riguardanti le prospettive a venire.

Miopia rispetto al futuro

I meccanismi delineati nell'ipotesi 3) porterebbero un osservatore esterno a giudicare i pazienti assai più interessati al presente che al futuro. Privi di marcatori, o di previsioni dispiegate per un tempo non brevissimo, questi pazienti sono in larga misura guidati dalle prospettive immediate e sembrano, in effetti, insensibili al poi. Ciò suggerisce che nei pazienti con lesioni ai lobi frontali è profondamente accentuata quella che può essere una tendenza di base affatto normale: puntare sull'oggi invece di investire sul domani. Negli individui normali e in quelli socialmente adattati, tale tendenza è posta sotto controllo, specie nelle situazioni in cui è in gioco un interesse personale; nei pazienti con lesioni ai lobi frontali, invece, essa acquista una dimensione soverchiante, che può facilmente schiacciarli. Si potrebbe descrivere il loro disagio come « miopia rispetto al futuro », adottando il concetto che è stato proposto per spiegare il comportamento di individui sotto l'influenza dell'alcool o di altre sostanze. Lo stato di ebbrezza restringe il panorama del nostro futuro, tanto che quasi nulla che non appartenga al presente viene elaborato con chiarezza.[3]

Se ne potrebbe concludere che il risultato delle lesioni di questi pazienti è la perdita di ciò che i loro cervelli hanno acquisito attraverso l'educazione e la socializzazione. La capacità di imparare a farsi guidare dalle prospettive future anziché dall'esito immediato è uno dei caratteri più tipici degli esseri umani – e si comincia a impararlo da bambini. Nei pazienti con lesioni ai lobi prefrontali, il danno cerebrale menoma non solo il deposito di conoscenze accumulate relative a tale orientamento, ma anche la capacità di acquisire nuove conoscenze dello stesso tipo. Come spesso avviene nei casi di lesioni cerebrali, questa tragedia apre uno spiraglio alla scienza, consentendo di fare qualche luce sulla natura dei processi che sono andati perduti – e qui sta l'unico aspetto riparatore, se proprio se ne vuole trovare uno.

Sappiamo dove sono localizzate le lesioni che causano la menomazione; sappiamo qualcosa sui sistemi neurali presenti nelle aree danneggiate da quelle lesioni. Ma come avviene che la loro distruzione d'improvviso faccia sì che le conseguenze future non abbiano più alcuna influenza sul decidere? Analizzando i vari componenti in cui si può scindere il processo, si trovano svariate possibilità.

È pensabile che le immagini che costituiscono uno scenario futuro siano deboli e instabili; esse verrebbero attivate, ma non mantenute ferme nella coscienza per un tempo bastante a far sì che intervengano nella strategia di ragionamento appropriata. In termini neuropsicologici, ciò equivale a dire che la memoria operativa e/o l'attenzione non stanno funzionando bene, per quanto si riferisce alle immagini relative al futuro. La spiegazione regge a prescindere dal fatto che le immagini riguardino il dominio degli stati corporei o quello dei fatti esterni al corpo.

Un'altra spiegazione fa ricorso all'idea dei marca-

tori somatici. Anche se le immagini delle conseguenze future fossero stabili, una lesione delle cortecce prefrontali ventromediane impedirebbe l'evocazione dei relativi segnali di stato somatico (attraverso un anello corporeo, o un anello « come se ») e di conseguenza i corrispondenti scenari futuri non sarebbero più marcati. La loro importanza non sarebbe evidente e il loro impatto sul processo di decisione sarebbe cassato, oppure facilmente soverchiato dall'importanza delle prospettive immediate. Si può spingersi un po' oltre dicendo che quel che andrebbe perduto sarebbe un meccanismo capace di generare in modo autonomo previsioni sull'importanza di un esito futuro. Nei soggetti normali sottoposti ai test con le carte descritti più sopra, ciò avverrebbe dopo ripetute esposizioni a differenti combinazioni di punizione e ricompensa, rispetto a un certo mazzo di carte. In altre parole, il cervello associerebbe un certo grado di positività o negatività a ciascuno dei mazzi (*A*, *B*, *C* o *D*). Il processo di base sarebbe non conscio, e consisterebbe nel « pesare » frequenze e gravità degli stati negativi. Lo stato somatico orientante sarebbe l'espressione neurale di questo mezzo, celato e non conscio, di ragionamento. Nei pazienti con lesioni frontali non sembra verificarsi alcun processo del genere.

Oggi io sono propenso a mettere assieme le due possibilità. Il fattore critico è l'attivazione degli stati somatici pertinenti, ma credo anche che il meccanismo dello stato somatico agisca da amplificatore per mantenere attive e ottimizzare la memoria operativa e l'attenzione connesse con gli scenari futuri. In breve, non è possibile formulare e usare adeguate « teorie » della propria mente e di quella degli altri, se fa difetto qualcosa come il marcatore somatico.

Hanna Damasio ha suggerito un séguito del tutto naturale agli esperimenti con i giochi d'azzardo. La sua idea è stata quella di tenere sotto osservazione le prestazioni sia dei soggetti normali sia di quelli con lesioni frontali, per cogliere eventuali differenze nell'andamento della conduttanza cutanea durante le prove.

Antoine Bechara e Daniel Tranel organizzarono l'esperimento collegando al poligrafo alcuni pazienti e alcuni soggetti normali sottoposti al test con le carte. In tal modo furono raccolti due insiemi paralleli di dati: le scelte che i soggetti andavano operando con continuità via via che la prova si svolgeva e il profilo continuo della conduttanza cutanea generato durante il processo.

Il primo lotto di risultati fornì un profilo sorprendente: sia i soggetti normali (« di controllo ») sia i pazienti con lesioni ai lobi frontali davano una risposta di conduttanza cutanea, ogni volta che ricevevano una ricompensa o una penalizzazione dopo avere voltato una data carta. In altre parole, nei pochi secondi immediatamente successivi al pagamento della penale o all'acquisizione della ricompensa, sia i soggetti normali sia i pazienti con lesioni frontali mostravano, attraverso la risposta della pelle, di essere stati influenzati dall'evento. Ciò è importante perché mostra, una volta di più, che i pazienti possono generare tale risposta in certe condizioni ma non in altre. È evidente che essi rispondono a stimoli che si producono adesso (una luce, un suono, una perdita, un guadagno), ma che non risponderanno se l'evento innescante è la rappresentazione mentale di qualcosa che è in relazione con lo stimolo ma non è accessibile in percezione diretta. Di primo acchito, si potrebbe descrivere il loro stato con lo slogan: « Fuori della vista, fuori della mente »: felice formula che Patricia Goldman-Rakic adotta per

spiegare in modo sintetico il deficit di memoria operativa provocato da una disfunzione frontale dorsolaterale. Noi sappiamo però che, in questi pazienti, ciò che è « fuori della vista » può essere « ancora nella mente », ma non conta; allora uno slogan migliore potrebbe forse essere questo: « Fuori della vista e dentro la mente, ma non fa niente ».

Dopo che ebbero voltato un certo numero di carte, però, anche ai soggetti normali cominciò ad accadere qualcosa di bizzarro. Subito prima che essi scegliessero una carta da un mazzo cattivo (cioè, mentre essi stavano decidendo o avevano appena deciso di pescare da quello che lo sperimentatore sapeva essere un mazzo cattivo), veniva generata una risposta di conduttanza cutanea che andava accentuandosi con il procedere del gioco. Il cervello dei soggetti normali, insomma, andava gradualmente imparando a prevedere un esito sfavorevole, e segnalava la relativa « negatività » di quel mazzo prima che ne venisse pescata e voltata una carta.[4]

Il fatto che i soggetti normali non esibissero tali risposte all'inizio della prova, il fatto che le risposte fossero acquisite con l'esperienza e che la loro intensità continuasse ad aumentare via via che si aggiungevano nuove esperienze (sia positive sia negative), indicavano in modo netto che il cervello di quei soggetti andava imparando qualcosa di importante sulla situazione e cercava di segnalare in anticipo che cosa non sarebbe stato positivo, in futuro.

Ancora più sorprendente fu ciò che vedemmo esaminando le risposte dei pazienti con lesioni frontali: *i pazienti non mostravano alcun tipo di risposta anticipatrice*; nessun segno che il loro cervello stesse sviluppando la previsione di un esito negativo.

Più di qualsiasi altro risultato, questo dimostra sia l'inspiegabile comportamento sia buona parte della sottostante neuropatologia di tali pazienti: i sistemi neurali che avrebbero consentito loro di imparare che cosa preferire e che cosa evitare non funziona-

no bene, e perciò non sono in grado di produrre risposte adeguate a una situazione nuova.

Noi non sappiamo, tuttora, in qual modo negli esperimenti con le carte si sviluppi la previsione di esiti futuri negativi. Ci si può chiedere se il soggetto elabori una stima cognitiva di negatività contro positività, per ogni mazzo, e colleghi in modo automatico tale impressione con uno stato somatico indicante negatività, il quale a sua volta può cominciare a operare come segnale d'allarme. In questo schema il ragionamento (una stima cognitiva) precede la segnalazione somatica; ma questa è ancora l'elemento critico per l'attuazione, giacché si sa che i pazienti non possono operare « normalmente » pur conoscendo i mazzi buoni e quelli cattivi.

Vi è, però, un'altra possibilità, secondo la quale una valutazione celata e non conscia precede qualsiasi processo cognitivo. Le reti prefrontali si affinerebbero, quanto al rapporto tra negatività e positività proprio di ogni mazzo, sulla base della frequenza di stati somatici cattivi o buoni provati *dopo* la punizione o la ricompensa. Con il contributo di questa cernita automatica, il soggetto sarebbe « aiutato a pensare » alla possibile negatività o positività di ciascun mazzo; vale a dire, sarebbe guidato verso una teoria sul gioco che sta giocando. Sistemi regolatori di base del corpo preparerebbero così il terreno a un'elaborazione cognitiva, conscia. In assenza di siffatta preparazione, non si arriverebbe mai, o si arriverebbe troppo tardi e in misura insufficiente, a rendersi conto di che cosa è buono e che cosa è cattivo.

10
IL CERVELLO PENSOSO DEL CORPO

Niente corpo, mai mente

« Il corpo gli è andato al cervello » è uno dei meno noti tra i celebri epigrammi di Dorothy Parker. Possiamo essere sicuri che l'arguzia sbrigliata della scrittrice non si sia mai rivolta alla neurobiologia, che ella non si stesse riferendo a William James e che non avesse mai sentito parlare di George Lakoff o di Mark Johnson – rispettivamente, un linguista e un filosofo che di certo hanno posto mente al corpo.[1] Ma il suo gioco di parole potrebbe dare qualche sollievo al lettore infastidito dalle mie riflessioni sul cervello pensoso del corpo. Nelle pagine che seguono ritornerò sull'idea che il corpo offre un riferimento di base alla mente.

Immaginate di stare tornando a casa a piedi, attorno alla mezzanotte (certo, dovete vivere in una città nella quale ancora si torni a casa a piedi), e di rendervi conto all'improvviso che qualcuno continua a seguirvi, abbastanza da presso. In termini semplici, ecco quel che accade: il vostro cervello ravvisa la minaccia; evoca alcune opzioni di risposta; ne sceglie una; agisce su questa; in tal modo riduce o elimina il rischio. Come si è visto discutendo

delle emozioni, però, le cose sono un po' più complicate di così. Gli aspetti chimici e neurali della risposta del cervello causano un profondo cambiamento del modo in cui operano tessuti e interi sistemi di organi. Ne sono modificati la disponibilità di energia e il tasso metabolico dell'organismo tutto, come pure la prontezza del sistema immunitario; il profilo biochimico complessivo dell'organismo attraversa rapide fluttuazioni; si contraggono i muscoli scheletrici che permettono alla testa, al tronco e agli arti di muoversi: segnali relativi a tutti questi cambiamenti vengono trasmessi al cervello, alcuni lungo vie neurali, altri lungo vie chimiche (nel flusso sanguigno), di modo che lo stato del corpo, che si è andato modificando di continuo, secondo dopo secondo, esercita un'influenza neurale e chimica sul sistema nervoso centrale, in diversi punti. Il risultato netto di questa come di altre situazioni simili è una marcata deviazione dall'andamento normale, sia in settori ristretti dell'organismo (cambiamenti «locali») sia nell'organismo nel suo insieme (cambiamenti «globali»). Quel che è più importante è che tali cambiamenti si verificano *sia* nel cervello *sia* nel corpo.

Oggi si conoscono molti esempi di tali complessi cicli di interazione; nonostante ciò è consuetudine concepire corpo e cervello come separati, per struttura e per funzione. L'idea che sia l'intero organismo, anziché il corpo da solo o il cervello da solo, a interagire con l'ambiente, il più delle volte riceve scarso credito, se mai viene presa in considerazione. Eppure quando vediamo, udiamo, tocchiamo, gustiamo, annusiamo, all'interazione con l'ambiente partecipano il corpo *e* il cervello.

Immaginate di contemplare uno dei vostri paesaggi preferiti: entra in gioco ben più che la rètina o le cortecce visive del cervello. Si potrebbe dire che, mentre la cornea è passiva, il cristallino e l'iride non solo lasciano passare la luce ma correggono la pro-

pria forma e dimensione reagendo alla scena che gli si apre davanti. Diversi muscoli muovono e orientano il bulbo oculare per seguire gli oggetti nel modo più efficace, mentre la testa e il collo si dispongono nella posizione migliore. Se questi (e altri) assestamenti non hanno luogo, di fatto non riuscite a vedere molto; ed essi dipendono da segnali che vanno dal cervello al corpo e da segnali correlati che vanno dal corpo al cervello.

Successivamente, i segnali riguardanti il paesaggio vengono elaborati all'interno del cervello. Vengono attivate strutture subcorticali come i collicoli superiori, e anche le cortecce sensitive di ordine inferiore e le diverse stazioni della corteccia di associazione e del sistema limbico connesse con quelle cortecce. Via via che le rappresentazioni disposizionali di quelle aree cerebrali attivano internamente la conoscenza relativa al paesaggio, il resto del corpo partecipa al processo. Presto o tardi, i visceri sono portati a reagire alle immagini che vedete e a quelle che la vostra memoria sta generando all'interno e che sono attinenti a ciò che vedete. Alla fine, quando del paesaggio visto si è formato un ricordo, questo sarà una registrazione neurale di molti dei cambiamenti dell'organismo appena descritti: alcuni hanno luogo nel cervello stesso (l'immagine costruita per il mondo esterno, insieme con le immagini costituite a partire dal ricordo), altri hanno luogo nel corpo.

Percepire l'ambiente, quindi, non può ridursi al cervello che riceve segnali diretti da un certo stimolo, tanto meno al cervello che riceve figure dirette. L'organismo si modifica attivamente, in modo che l'interfaccia possa prodursi al meglio; il corpo non è passivo. Forse è altrettanto importante osservare che la ragione per la quale la maggior parte delle interazioni con l'ambiente ha luogo è che l'organismo le richiede al fine di mantenere l'omeostasi – la condizione di equilibrio funzionale. L'organismo

agisce di continuo sull'ambiente (per prime vennero azioni ed esplorazione), così da poter favorire le interazioni necessarie alla sopravvivenza; ma per riuscire con successo a evitare il pericolo, a procurarsi con efficienza cibo, sesso e riparo, esso deve *sentire* l'ambiente (odorarlo, gustarlo, toccarlo, udirlo, vederlo) in modo da potere intraprendere le azioni appropriate in reazione a ciò che viene sentito. Percepire è tanto ricevere segnali dall'ambiente quanto agire su di esso.

Sulle prime, l'idea che la mente derivi dall'organismo intero preso come un insieme può apparire contraria all'intuizione. Non è molto che il concetto di mente ha lasciato l'etereo non luogo che occupava nel diciassettesimo secolo per muovere verso la residenza attuale, nel cervello o in quei dintorni: una collocazione ancora più che dignitosa, anche se ottenuta dopo una sorta di degradazione. In termini di biologia evoluzionistica, di ontogenia (cioè di sviluppo individuale) e di funzionamento corrente, suggerire che la mente in sé dipenda dalle interazioni tra corpo e cervello può sembrare azzardato. Ma seguitemi: quello che io sto suggerendo è che, certo, la mente scaturisce dall'attività dei circuiti neurali, molti dei quali però vennero foggiati, nell'evoluzione, dai requisiti funzionali dell'organismo; si avrà una mente normale solo se quei circuiti contengono rappresentazioni di base dell'organismo, e continuano a tenere sotto osservazione gli stati dell'organismo in azione. In breve, i circuiti neurali rappresentano con continuità l'organismo, mentre esso è perturbato da stimoli provenienti dall'ambiente fisico e da quello socioculturale, e mentre agisce su tali ambienti. Se l'oggetto fondamentale di tali rappresentazioni non fosse un organismo ancorato nel corpo, potremmo sì avere qualche forma di mente, ma dubito che sarebbe la mente che abbiamo.

Non sto affermando che la mente è nel corpo; sto affermando che il contributo del corpo al cervello non si riduce agli effetti modulatori o al sostegno delle operazioni vitali, ma comprende anche un *contenuto* che è parte integrante del funzionamento della mente normale.

Torniamo all'esempio della passeggiata di mezzanotte verso casa. Il vostro cervello ha ravvisato una minaccia (la persona che vi segue) e dà inizio a diverse, complicate catene di reazioni neurali e biochimiche. Alcune battute di questa sceneggiatura interna sono scritte nel corpo, altre nel cervello; e tuttavia, anche se siete un esperto e sapete tutto della neurofisiologia e della neuroendocrinologia sottese, non potete distinguere nettamente quel che vi accade nel cervello da quel che vi accade nel corpo. Siete consapevoli di essere in pericolo; di essere fortemente allarmati – e forse dovreste accelerare il passo; di avere accelerato il passo, di essere infine, si spera, fuori pericolo. Il « voi » di questo episodio è in un sol pezzo; in effetti si tratta di una costruzione mentale molto reale, che chiamerò « sé » (in mancanza di un termine migliore) e che si basa su attività coinvolgenti l'intero organismo, cioè il corpo e il cervello.

Verrà data più avanti una sommaria descrizione di quel che a mio avviso occorre alla base neurale del sé; qui voglio però affermare subito che il sé è uno stato biologico ripetutamente ricostruito; *non* è un minuscolo individuo (il famigerato omuncolo) che se ne sta all'interno del vostro cervello a contemplare quel che succede. Se qui lo cito ancora, è solo per ribadire al lettore che non faccio affidamento su di esso: non serve invocare un omuncolo che vede, o pensa, o quant'altro, nel cervello, perché allora sarebbe naturale chiedersi se anche nel cervello di tale omuncolo si celi un altro essere ancor più minuscolo che vede, o pensa, ecc., e così via

all'infinito.* Questa particolare spiegazione, che pone il problema di un regresso all'infinito, non spiega un bel nulla. Devo anche osservare che l'avere un sé, un sé individuale, è del tutto compatibile con l'affermazione di Dennett secondo la quale non vi è alcun teatro cartesiano in qualche angolo del nostro cervello. Vi è, certo, un sé per ogni organismo (fatta eccezione per quei casi in cui un disturbo cerebrale ne ha creato più di uno, come accade nelle sindromi da personalità multipla, oppure ha menomato o soppresso l'unico sé normale, come accade in certe forme di anosognosia e in certi tipi di attacchi epilettici); ma il sé che dà soggettività alla nostra esperienza non è un ente centrale di conoscenza, un incaricato con il compito di ispezionare tutto ciò che accade nella mente.

Perché lo stato biologico del sé si verifichi, bisogna che siano integri e in piena attività numerosi sistemi cerebrali e anche numerosi sistemi corporei. Supponete che vengano recisi *tutti* i nervi che portano al corpo i segnali del cervello; il vostro stato corporeo cambierebbe in modo radicale, e così pure, di conseguenza, la vostra mente. Anche un arresto parziale degli scambi cervello-corpo (come si ha in pazienti con lesioni al midollo spinale) modifica lo stato della mente.[2]

I filosofi ben conoscono l'esperimento immaginario del « cervello in una vasca »: si immagina che un cervello, rimosso dal corpo cui apparteneva, venga mantenuto in vita immerso in una soluzione nutritizia, e venga stimolato – attraverso i moncherini dei nervi – nello stesso identico modo in cui sarebbe stimolato se fosse ancora racchiuso nel cranio.[3] Vi è chi crede che siffatto cervello avrebbe esperienze mentali normali; ora, a parte la sospensione di in-

* In realtà, credo che sarebbe meglio parlare di regresso infinito nello spazio, per far notare che il vero problema sta nella creazione di una serie di matrioske, di bamboline russe, una dentro l'altra.

credulità indispensabile per immaginare questo esperimento (e in verità qualsiasi *Gedankenexperiment*), io credo invece che esso non avrebbe una mente normale. In mancanza degli stimoli *uscenti*, diretti al corpo come campo d'azione, capaci di contribuire al rinnovarsi e al modificarsi degli stati corporei, ne risulterebbero sospesi l'innesco e la modulazione di quegli stati che, quando vengono ripresentati al cervello, costituiscono ciò che a me sembra il fondamento del senso di essere vivi. E se fosse possibile, al livello dei nervi recisi, imitare configurazioni realistiche di segnali entranti come se provenissero dal corpo? In tal modo il cervello scorporato avrebbe una mente normale. Questo sarebbe certo un esperimento suggestivo e interessante « da fare », e sospetto che in tali condizioni il cervello potrebbe sì avere *una qualche* mente. Ma l'elaborazione ulteriore non avrebbe fatto altro che creare un surrogato del corpo, così confermando in definitiva che per un cervello normalmente fornito di mente occorrono input « di tipo corporeo ». Non sarebbe verosimile, invece, che anche in questa versione perfezionata gli « input corporei » ripetessero in modo realistico la varietà di configurazioni che gli stati corporei assumono quando sono innescati da un cervello impegnato a compiere valutazioni.

In breve, le rappresentazioni che il cervello costruisce per descrivere una situazione, e i movimenti elaborati come risposta, dipendono da mutue interazioni tra corpo e cervello. Via via che il corpo cambia, per influenze chimiche e neurali, le rappresentazioni che il cervello ne costruisce si evolvono; alcune rimangono non consce, mentre altre raggiungono la coscienza. Allo stesso tempo, al corpo continuano ad affluire segnali provenienti dal cervello, alcuni in modo deliberato e altri in modo automatico, provenienti da settori del cervello le cui attività non hanno rappresentazione diretta nella coscienza. Il risultato è che il corpo si modifica ancora, e quindi si modifica l'immagine che se ne ha.

Gli eventi mentali sono il risultato dell'attività che si svolge nei neuroni del cervello; ma vi è una storia precedente e indispensabile che essi devono narrare: la storia del disegno e del funzionamento del corpo.

La supremazia del corpo è un motivo che risuona nell'evoluzione: dal semplice al complesso, per milioni di anni, il cervello si è occupato in primo luogo dell'organismo che lo detiene. In misura minore lo si ritrova anche nello sviluppo di ciascuno di noi in quanto individui, cosicché agli inizi vi furono dapprima rappresentazioni del corpo e solo in seguito rappresentazioni relative al mondo esterno – e in una misura ancora più piccola, ma non trascurabile, relative all'*adesso*, allorché costruiamo la mente del momento.

Fare scaturire la mente da un organismo anziché da un cervello staccato dal corpo è compatibile con un certo numero di ipotesi.

Innanzitutto, quando nel corso dell'evoluzione furono selezionati cervelli abbastanza complessi da generare non solo risposte motorie (azioni), ma anche risposte mentali (immagini nella mente), ciò avvenne, con ogni probabilità, perché quelle risposte mentali rafforzavano la capacità di sopravvivenza dell'organismo con uno dei seguenti mezzi (o con tutti): un migliore apprezzamento delle circostanze esterne (per esempio, percependo un maggior numero di particolari di un oggetto, localizzandolo con più esattezza nello spazio, ecc.); un affinamento delle risposte motorie (così da colpire un bersaglio con maggiore precisione); una previsione delle conseguenze future attraverso la formazione di scenari e la pianificazione di azioni che portino a realizzare, tra gli scenari immaginati, quelli migliori.

In secondo luogo, dato che la sopravvivenza così orientata da una mente era intesa alla sopravvivenza dell'intero organismo, ai primordi le rappresen-

tazioni di quei cervelli dovettero riguardare il corpo, in termini di struttura e stati funzionali, ivi incluse le azioni interne ed esterne con le quali l'organismo rispondeva all'ambiente. Non sarebbe stato possibile regolare e proteggere l'organismo senza rappresentarne l'anatomia e la fisiologia a un livello di dettaglio sia di base sia *presente*.

Lo sviluppo di una mente, che in realtà significa sviluppo di rappresentazioni delle quali si possa acquisire coscienza come immagini, offrì agli organismi un nuovo modo di adattarsi a circostanze ambientali che non si sarebbero potute prevedere nel genoma. È probabile che la base di tale adattabilità abbia avuto inizio con la costruzione di immagini del corpo in funzione, cioè immagini del corpo che risponde all'ambiente esternamente (ad esempio usando un arto) e internamente (regolando lo stato dei visceri).

Se il cervello si è evoluto in primo luogo per assicurare la sopravvivenza del corpo, allora quando comparvero cervelli dotati di mente essi cominciarono con il por mente al corpo. E per tutelare la sopravvivenza del corpo con la più grande efficacia possibile, la natura – io credo – si imbatté in una soluzione molto potente: *rappresentare il mondo esterno in termini di modificazioni che esso provoca nel corpo*, cioè rappresentare l'ambiente modificando le rappresentazioni primordiali del corpo ogni volta che si ha un'interazione tra organismo e ambiente.

Che cos'è e dove si trova tale rappresentazione primordiale? Io credo che essa abbracci: 1) la rappresentazione di stati di regolazione biochimica in strutture del midollo allungato e dell'ipotalamo; 2) la rappresentazione dei visceri, ivi inclusi non solo gli organi della testa, del torace e dell'addome, ma anche le masse muscolari e la pelle – che agisce come un organo e costituisce il confine dell'organismo, la supermembrana che racchiude ciascuno di noi come un'unità; 3) la rappresentazione dell'inte-

laiatura muscoloscheletrica e dei suoi movimenti potenziali. Queste rappresentazioni, che sono distribuite in diverse regioni cerebrali (come ho già indicato nei capp. 4 e 7), devono essere coordinate da connessioni di neuroni. Come spiegherò fra breve, credo che la rappresentazione della pelle e dell'intelaiatura muscoloscheletrica possa avere un ruolo importante nell'assicurare la coordinazione.

Quando si pensa alla pelle, per prima cosa viene fatto di immaginarla come un esteso strato sensoriale, rivolto verso l'esterno, che attraverso il senso del tatto ci aiuta a costruire forma, superficie, struttura e temperatura degli oggetti esterni. Ma essa è molto di più. In primo luogo, è una protagonista essenziale della regolazione omeostatica: è controllata da segnali nervosi autonomi diretti provenienti dal cervello e da segnali chimici che le arrivano da numerose fonti. Quando si arrossisce o si impallidisce, il rossore o il pallore si verificano nella pelle « viscerale », non in quella nota come sensore per il tatto. Nel suo ruolo di viscere (ed essa è, in effetti, il viscere più grande di tutto il corpo), la pelle contribuisce a regolare la temperatura corporea, aumentando o riducendo il diametro dei vasi sanguigni che contiene, e a regolare il metabolismo mediando gli scambi ionici (come avviene quando si suda). Gli ustionati gravi rischiano di morire non perché hanno perduto una parte integrante del loro senso del tatto, ma perché la pelle è un viscere indispensabile.

Secondo la mia idea, il complesso somatosensitivo del cervello (specialmente quello dell'emisfero destro, negli esseri umani) rappresenta la nostra struttura corporea facendo riferimento a un disegno del corpo nel quale vi sono parti centrali (il tronco, la testa), parti appendicolari (gli arti) e un confine. Una rappresentazione della pelle potrebbe essere il mezzo naturale per indicare il confine del corpo, poiché essa è un'interfaccia rivolta sia all'interno dell'organismo sia all'ambiente con il quale l'organismo interagisce.

Questa mappa dinamica dell'intero organismo, ancorata al disegno del corpo e al confine di esso, non sarebbe prodotta in una sola area cerebrale, ma piuttosto in diverse aree, per mezzo di schemi di attività neurale coordinati nel tempo. La rappresentazione con mappe indifferenziate delle attività del corpo, al livello del midollo allungato e dell'ipotalamo (dove l'organizzazione topografica dell'attività neurale è minima), sarebbe connessa a regioni cerebrali nelle quali è sempre maggiore la disponibilità di organizzazione topografica del flusso di segnali: le cortecce dell'insula e le cortecce somatosensitive note come S1 e S2.[4] La rappresentazione sensoriale di tutte le parti che hanno una possibilità di movimento sarebbe connessa a vari siti e livelli del sistema motorio la cui attività può indurre attività muscolare. In altre parole, l'insieme dinamico di mappe come lo concepisco io è « somato-motorio ».

L'esistenza delle strutture che ho brevemente richiamato è fuori discussione. Non posso garantire che esse operino nel modo da me descritto, o che abbiano il ruolo che attribuisco loro; ma la mia ipotesi può essere esaminata e studiata. Nel frattempo, si noti che in mancanza di un dispositivo come questo non saremmo mai in grado di localizzare nel nostro corpo, sia pure in modo approssimativo, dolore o fastidio – per quanto imprecisi si possa essere nel farlo; non saremmo in grado di avvertire pesantezza alle gambe dopo essere stati a lungo in piedi, o senso di disordine all'addome, o la nausea e l'affaticamento che sono la spia del *jet lag* e che noi « localizziamo » pressoché nell'intero corpo.

Supposto che la mia ipotesi possa trovare elementi a sostegno, discutiamone alcune implicazioni. La prima è che la maggior parte delle interazioni con l'ambiente avviene *in un luogo* entro il confine del corpo, quale che sia il senso (il tatto o qualsiasi altro) impegnato, perché gli organi di senso esistono in una data localizzazione, entro la vasta mappa geo-

grafica di tale confine. La formazione e l'invio di segnali implicanti interazioni dell'organismo con i suoi dintorni possono ben essere elaborati facendo riferimento alla mappa complessiva del confine del corpo. Un senso particolare (ad esempio la vista) ha un suo *luogo di elaborazione particolare* (in questo caso gli occhi) all'interno di tale confine.

Perciò i segnali provenienti dall'esterno risultano essere doppi: qualcosa che si vede, o che si ode, eccita il particolare senso della vista, o dell'udito, come segnale « non corporeo », ma eccita anche un segnale « corporeo » proveniente dal punto della pelle nel quale è entrato il primo segnale. Un particolare senso, quando è impegnato, produce una doppia serie di segnali: la prima viene dal corpo, ha origine là dove è ubicato l'organo di senso in questione (l'occhio per la vista, l'orecchio per l'udito) e viene convogliata al complesso motorio e somatosensitivo che in modo dinamico rappresenta l'intero corpo come una mappa funzionale. La seconda serie viene dall'organo di senso e viene rappresentata nelle unità sensitive pertinenti a quella modalità sensoriale (nel caso della vista, tali unità comprendono le cortecce visive di ordine inferiore e i collicoli superiori).

Tale assetto avrebbe una conseguenza pratica: quando si vede, non ci si limita a vedere, ma *si sente anche di star vedendo qualcosa con i propri occhi.* Il cervello elabora segnali riguardanti il fatto che l'organismo è impegnato in un punto preciso della mappa di riferimento del corpo (ad esempio gli occhi e i muscoli che li controllano), o riguardanti le particolarità visive di ciò che sta eccitando le rètine.

Io penso che la conoscenza acquisita dall'organismo toccando un oggetto, vedendo un panorama, udendo una voce o muovendosi nello spazio lungo una certa traiettoria, fosse rappresentata con riferimento al corpo in azione. Agli inizi non vi era alcun toccare, o vedere, o udire, o muoversi, di per sé; vi

era, piuttosto, un *sentimento del corpo* quando questo toccava, o vedeva, o udiva, o si muoveva.

In larga misura, tale assetto sarebbe stato mantenuto. È corretto descrivere la nostra percezione visiva come un « sentimento del corpo quando vediamo », e noi certamente « sentiamo » che vediamo con gli occhi anziché, poniamo, con la fronte. (« Sappiamo » anche che vediamo con gli occhi perché, se li chiudiamo, le immagini visive si dileguano; ma tale inferenza non equivale al naturale sentire di vedere con gli occhi). È vero che l'attenzione posta nell'elaborazione visiva di per sé tende a renderci in parte inconsapevoli del corpo; tuttavia, se insorgono dolore, inquietudine o emozione, l'attenzione può essere focalizzata istantaneamente sulle rappresentazioni corporee, e il sentimento del corpo lascia allora lo sfondo per portarsi al centro della scena.

In realtà si è assai più consapevoli dello stato complessivo del corpo di quanto si riconosca di solito; ma è evidente che con l'evolversi di vista, udito e tatto aumentava di pari passo l'attenzione usualmente destinata al rispettivo componente della percezione complessiva. Così la percezione del corpo il più delle volte era lasciata esattamente là dove essa faceva (e fa) il lavoro migliore: *sullo sfondo.* Quest'idea si accorda bene con il fatto che negli organismi semplici, in aggiunta al precursore di un senso del corpo (che deriva dal confine dell'intero corpo dell'organismo, la « pelle »), vi sono precursori dei sensi particolari (vista, udito, tatto), come si può cogliere dal modo in cui il confine dell'*intero* corpo può rispondere (rispettivamente alla luce, alle vibrazioni, al contatto meccanico). Anche in un organismo privo di sistema visivo si può trovare un precursore della vista, sotto forma di fotosensibilità diffusa a tutto il corpo: l'idea stimolante è che, quando una parte specializzata del corpo (gli occhi) imbriglia e sfrutta la fotosensibilità, quella stessa parte abbia un

sito specifico nel disegno complessivo del corpo. (L'idea che gli occhi si siano evoluti a partire da zone fotosensibili risale a Darwin; in modo analogo è stata ripresa da Nicholas Humphrey).[5]

Nella maggior parte dei casi di funzionamento percettivo regolare, il sistema somatosensitivo e quello motorio sono impegnati simultaneamente, insieme con il sistema (o i sistemi) sensitivi opportuni per gli oggetti percepiti. Questo è vero anche quando il sistema sensitivo opportuno dovesse essere il componente esterocettivo (ovvero orientato in senso esterno) del sistema somatosensitivo. Quando tocchiamo un oggetto, quindi, dalla pelle si dipartono due serie di segnali locali: la prima riguarda forma e struttura dell'oggetto; la seconda è connessa con i punti del corpo attivati dal contatto con l'oggetto e dal movimento di braccio e mano. Si aggiunga che, dato che l'oggetto può generare una successiva reazione corporea, pertinente al suo valore emotivo, poco dopo tale reazione il sistema somatosensitivo viene impegnato nuovamente. Dovrebbe risultare evidente che è quasi inevitabile un'elaborazione corporea, indipendentemente dalla natura di ciò che facciamo o pensiamo. È probabile che non si possa concepire la mente senza che essa sia in qualche modo *incorporata*; questa nozione fa spicco nelle proposte teoriche di George Lakoff, di Mark Johnson, di Eleanor Rosch, di Francisco Varela, di Gerald Edelman.[6]

Ho discusso l'idea con svariati interlocutori e, se la mia esperienza può essere indicativa, credo che la maggioranza dei lettori non avrà difficoltà ad accoglierla, e solo pochi la troveranno estremistica o errata. Ascoltando gli scettici, ho appreso che la loro più forte obiezione nasce da ciò che essi avvertono come la mancanza di una forte esperienza presente di alcunché di corporeo, quando pensano. Non mi sembra un problema, perché io non sto suggerendo che le rappresentazioni corporee dominino il pae-

saggio della nostra mente (salvo che nei momenti di sconvolgimento emotivo). Per quanto riguarda il momento presente, io penso che le immagini dello stato corporeo stiano sullo sfondo, in generale non oggetto di attenzione ma pronte a balzare in primo piano. Inoltre, io do più rilievo alla *storia dello sviluppo* dei processi cervello/mente anziché al momento presente. Credo che immagini dello stato corporeo siano state gli indispensabili mattoni e impalcature di ciò che esiste adesso; ma senza alcun dubbio ciò che esiste adesso è dominato da immagini non corporee.

Un'altra fonte di scetticismo è la nozione che il corpo fu sì importante nell'evoluzione del cervello, ma esso è così intimamente e permanentemente « simbolizzato » nella struttura cerebrale che non è più necessario che sia presente « nel ciclo ». Questa è una posizione estrema. Sono d'accordo che il corpo è ben « simbolizzato » nella struttura cerebrale, e che « simboli » del corpo possono essere usati « come se » fossero segnali corporei presenti; ma preferisco, per tutte le ragioni già esposte, pensare che il corpo rimanga « nel ciclo ». Occorre solo aspettare che si accumulino altri elementi di prova, per decidere sul merito dell'idea qui suggerita. Nel frattempo, chiedo agli scettici di pazientare.

Il corpo come riferimento di base

Le rappresentazioni primitive del corpo in attività ci fornirebbero una cornice temporale e spaziale, una metrica alla quale riportare le altre rappresentazioni. La rappresentazione di quello che ora costruiamo come uno spazio tridimensionale sarebbe generata nel cervello, sulla base dell'anatomia e degli schemi di movimento del corpo nell'ambiente.

C'è una realtà esterna, ma ciò che noi ne sappiamo giungerebbe per opera del corpo in attività, at-

traverso rappresentazioni delle sue perturbazioni. Noi non sapremmo mai quanto la nostra conoscenza sia fedele alla realtà « assoluta »: quello che ci occorre avere (e io credo che l'abbiamo) è una solida coerenza nelle costruzioni della realtà che il nostro cervello produce e condivide con altri.

Si pensi all'idea di gatto: noi dobbiamo costruire una qualche immagine del modo in cui il nostro organismo tende a essere modificato da una classe di entità che arriveremo a conoscere come gatti, e occorre che lo facciamo in modo coerente, sia su scala individuale sia con riferimento al gruppo umano nel quale viviamo. Tali rappresentazioni dei gatti, sistematiche e coerenti, sono di per sé reali. Sono reali le nostre menti, sono reali le nostre immagini di gatti, sono reali i nostri sentimenti riguardo ai gatti. Accade che tale realtà mentale, neurale, biologica, sia la *nostra* realtà. Rane o pesci che guardino ai gatti li vedono in modo differente, e lo stesso vale per i gatti stessi.

Ma la cosa più importante è forse questa: le rappresentazioni primitive del corpo in attività potrebbero avere un ruolo nella coscienza, offrendo un nucleo alla rappresentazione neurale del sé e quindi un riferimento naturale per ciò che accade all'organismo, all'interno o all'esterno del suo confine fisico. Il riferimento di base nel corpo elimina il bisogno di attribuire a un omuncolo la produzione della soggettività. Vi sarebbero, invece, stati successivi dell'organismo, ognuno con una rappresentazione neurale nuova, in mappe multiple concertate, momento per momento, e ognuno tale da fissare il sé che esiste in quel momento.

Il sé neurale

Io ho un enorme interesse per il tema della « coscienza », e sono convinto che la neurobiologia pos-

sa cominciare ad accostarvisi. Alcuni filosofi (tra i quali John Searle, Patricia Churchland e Paul Churchland) hanno esortato i neurobiologi a studiare la coscienza, e sia filosofi sia neurobiologi (per esempio Francis Crick, Daniel Dennett, Gerald Edelman, Rodolfo Llinás) hanno cominciato a formulare teorie.[7] Ma il presente libro non ha per argomento la coscienza, per cui limiterò i miei commenti a un aspetto, che è pertinente alla discussione fatta su immagini, sentimenti e marcatori somatici. Esso riguarda la base neurale del sé: comprenderla potrebbe gettare un po' di luce sul processo della soggettività, che è una proprietà essenziale della coscienza.

Prima, però, è bene chiarire che cosa intendo per « sé »; per questo, esporrò un'osservazione che mi è capitato più volte di fare su pazienti colpiti da disturbi neurologici. Quando in un paziente si produce incapacità a ravvisare volti che gli erano familiari, o a vedere i colori, o a leggere, o quando certi pazienti non riescono più a riconoscere motivi musicali, a comprendere quel che gli si dice, a esprimersi verbalmente, salvo rare eccezioni essi riferiscono che sta accadendo loro qualcosa, qualcosa di nuovo e insolito, che possono osservare, sforzarsi di capire e spesso descrivere con perspicacia e concretezza. Quel che colpisce è che la teoria della mente implicita in tali descrizioni suggerisce che essi « localizzano » il problema in una parte della loro persona, che essi ispezionano dal punto di vista della propria individualità. Il quadro di riferimento non differisce da quello che adotterebbero se dovessero considerare un problema riguardante le ginocchia, o i gomiti. Le eccezioni, come ho detto, sono rare: certi pazienti colpiti da grave afasia possono non essere così acutamente consapevoli del deficit di cui soffrono, e non daranno un resoconto chiaro degli eventi che si succedono nella loro mente. Di solito, però, viene ricordato bene anche il momento preci-

so in cui il deficit si presentò (spesso queste condizioni hanno un inizio brusco e netto). Innumerevoli volte ho sentito pazienti descrivermi la loro esperienza dell'orribile momento in cui si produsse una lesione cerebrale e quindi una menomazione cognitiva o motoria: « Mio Dio, che cosa *mi* sta succedendo? » è espressione frequente. Nessuno di questi complicati deficit viene mai riferito a un'entità vaga, o al tizio della casa accanto: quello che succede succede al soggetto.

E ora vediamo come vanno le cose con i pazienti affetti dalla forma completa di anosognosia di cui già ho parlato. Né secondo la mia esperienza né secondo tutti i resoconti che ho potuto leggere, questi pazienti danno descrizioni simili a quelle dei pazienti del capoverso precedente. Nessuno esclama: « Dio, com'è strano che io non senta più alcuna parte del mio corpo, e che tutto quello che è rimasto di me sia la mente! »; nessuno sa dirvi *quando* cominciò il disturbo: essi non lo sanno, a meno che qualcuno glielo dica. Diversamente dai pazienti a cui ho fatto riferimento prima, nessuno dei colpiti da anosognosia sa riferire il disturbo al sé.

È ancora più curioso osservare che pazienti con una menomazione solo parziale del senso del corpo possono riferire il disturbo al sé: è quello che accade ai pazienti con anosognosia transitoria, oppure con asomatognosia. Particolarmente indicativo è il caso di quella paziente affetta da perdita temporanea del senso della struttura corporea nella sua interezza e del senso del confine corporeo (su entrambi i lati, destro e sinistro), e tuttavia perfettamente consapevole delle proprie funzioni viscerali (respirazione, battito cardiaco, digestione): la paziente era in grado di specificare la propria condizione come l'inquietante perdita di una parte del suo corpo, ma non del suo « essere ». In qualunque momento sopravvenisse un nuovo episodio di perdita parziale del senso del corpo, aveva ancora un sé – un sé piut-

tosto allarmato, per la verità. La paziente fu vittima di attacchi, che insorsero da una lesione dell'emisfero destro, piccola ma criticamente localizzata, all'intersezione delle diverse mappe somatosensitive di cui ho parlato in precedenza: la lesione offendeva l'insula anteriore, cioè la regione che a mio giudizio è cruciale per il senso dei visceri. Una terapia anti attacchi pose rapidamente fine a tali episodi.

Ed ecco come io interpreto la condizione dei soggetti colpiti da anosognosia completa: il danno che essi hanno subìto ha distrutto in parte il substrato del sé neurale. Perciò, essendo menomata la loro capacità di elaborare gli stati corporei presenti, essi sono in grado di costruire uno stato del sé che è ridotto, basandosi su informazione vecchia e che diventa sempre più vecchia di minuto in minuto.

L'accento posto sul sé non significa che io stia qui parlando dell'autocoscienza, poiché io vedo il sé e la soggettività che esso genera come necessari per la coscienza in generale, non solo per l'autocoscienza; né l'interesse per il sé significa che altre caratteristiche della coscienza siano meno importanti, o meno suscettibili di uno studio neurobiologico. Il processo di produzione di immagini e lo stato di vigilanza e *arousal* che per questo sono necessari sono altrettanto pertinenti quanto il sé, del quale facciamo esperienza come osservatori e detentori di tali immagini. Tuttavia il problema della base neurale del sé e quello della base neurale per la formazione di immagini non stanno al medesimo livello, né dal punto di vista cognitivo né dal punto di vista neurale. Non si può avere un sé senza vigilanza, senza *arousal*, senza formazione di immagini, ma è tecnicamente possibile essere all'erta e pronti a reagire e con le immagini già formate in vari settori del cervello e della mente, pur avendo un sé compromesso. In casi estremi, l'alterazione patologica della vigilanza e della prontezza di reazione provoca torpo-

re, stato vegetativo e coma, condizioni nelle quali il sé scompare del tutto, come hanno mostrato Fred Plum e Jerome Posner in una classica descrizione.[8] Possono però aversi alterazioni patologiche del sé senza che siano distrutti quei processi di base: lo si vede in pazienti colpiti da certi tipi di attacchi o da anosognosia completa.

Ancora qualche cenno di precisazione, per poter proseguire: quando ricorro alla nozione di sé, non intendo in alcun modo suggerire che *tutti* i contenuti della mente siano ispezionati da un singolo osservatore e detentore – tanto meno che tale entità risieda in un unico sito cerebrale. Dico, nondimeno, che le nostre esperienze tendono ad avere una prospettiva coerente, come se davvero vi fosse un osservatore e detentore per la maggior parte dei contenuti, seppure non per tutti. Io immagino che tale prospettiva sia radicata in uno stato biologico relativamente stabile, incessantemente ripetuto. Sorgenti della stabilità sono la struttura e il funzionamento – in larghissima misura invarianti – dell'organismo e gli elementi in evoluzione dei dati autobiografici.

La base neurale del sé, a mio parere, sta in una continua riattivazione di almeno due insiemi di rappresentazioni. Il primo riguarda le rappresentazioni di elementi chiave dell'autobiografia di un individuo, sulla base dei quali si può ricostruire ripetutamente una nozione di identità, mediante parziale attivazione in mappe sensitive topograficamente organizzate. L'insieme delle rappresentazioni disposizionali che descrivono una qualsiasi delle nostre autobiografie riguarda un gran numero di fatti categorizzati che definiscono la nostra persona: che cosa facciamo, chi e che cosa ci piace, quali tipi di oggetti usiamo, quali luoghi frequentiamo e quali azioni compiamo più spesso. Si può vedere questo insieme di rappresentazioni come un dossier del tipo di quelli che ben sapeva preparare J. Edgar Hoover, salvo il fatto che non è contenuto in sche-

dari, bensì nelle cortecce di associazione di molti siti cerebrali. E poi, in aggiunta a tali categorizzazioni, vi sono gli eventi, unici, del nostro passato, che vengono costantemente attivati come rappresentazioni proiettate su mappe: dove viviamo e lavoriamo, quale lavoro svolgiamo, qual è il nostro nome e quello dei nostri amici e parenti più stretti, della nostra città, del paese, ecc. Infine, nella memoria disposizionale recente, vi è una raccolta di eventi vicini nel tempo, insieme con una loro approssimativa proiezione temporale, e anche una raccolta di progetti, un certo numero di eventi immaginari che intendiamo far accadere, o ci aspettiamo che accadano. Progetti ed eventi immaginari costituiscono ciò che io chiamo « memoria del possibile futuro », tenuta in rappresentazioni disposizionali proprio come qualsiasi altro ricordo.

In breve, l'incessante riattivazione di immagini aggiornate riguardanti la nostra identità (una combinazione di ricordi del passato e del futuro progettato) costituisce una parte considerevole dello stato del sé come io lo intendo.

Il secondo insieme di rappresentazioni sottese dal sé neurale è dato dalle rappresentazioni primitive del corpo di un individuo, a cui ho fatto accenno in precedenza: non solo come il corpo è stato in generale, ma anche come è stato *ultimamente*, appena prima del processo che ha portato alla percezione dell'oggetto *X* (questo punto è importante: come si vedrà più avanti, io credo che la soggettività dipenda in larga parte dai cambiamenti che hanno luogo nello stato del corpo durante e dopo l'elaborazione di *X*). Ciò abbraccia, necessariamente, stati di fondo del corpo e stati emotivi. La rappresentazione complessiva del corpo costituisce la base per un concetto di « sé », quasi nel modo in cui una raccolta di rappresentazioni di forma, dimensioni, colore, struttura e gusto può costituire la base del concetto di arancia. I primi (sia dal punto di vista dell'evoluzio-

ne sia da quello dello sviluppo) segnali corporei hanno contribuito a formare un « concetto di base » del sé, che ha offerto il riferimento di fondo per ogni altra cosa che accadesse all'organismo – inclusi gli stati corporei presenti che *di continuo* erano inglobati nel concetto di sé e subito divenivano stati passati. (Sono questi i predecessori e il fondamento della nozione di sé secondo la concezione di Jerome Kagan).[9] Quello che accade a noi *adesso* sta in effetti accadendo a un concetto di sé che è basato sul passato, ivi incluso il passato che era presente solo un momento fa.

Lo stato del sé viene costruito da cima a fondo in ogni momento; è uno stato di riferimento evanescente, di continuo *ri*costruito con tale coerenza che il possessore non se ne accorge mai, a meno che durante questo rifacimento qualcosa non vada per il verso sbagliato. Il sentimento di fondo di adesso, o il sentimento di un'emozione di adesso, insieme con i segnali sensoriali non corporei di adesso, toccano il concetto di sé quale è rappresentato nell'attività coordinata di molteplici regioni cerebrali. Ma il nostro sé (o meglio, il nostro metasé) « impara » riguardo a quell'« adesso » solo un istante più tardi. Colgono in modo lapidario questa essenza le considerazioni di Pascal sul passato, sul presente e sul futuro che ho citato in apertura del capitolo 8 (lo stesso può dirsi per il riferimento di Edelman al « presente ricordato »). Il presente diviene di continuo passato, e intanto che lo scorriamo ci troviamo in un altro presente, consumato in una pianificazione del futuro che compiamo poggiando il piede sui gradini del passato. Il presente non è mai qui. Noi siamo irrimediabilmente in ritardo, per la coscienza.

Vorrei affrontare, infine, quello che è forse il punto più critico. Attraverso quale esercizio di prestidigitazione un'immagine dell'oggetto *X* e uno stato del sé (entrambi esistenti come momentanee attivazioni di rappresentazioni topograficamente orga-

nizzate) generano la soggettività che caratterizza le nostre esperienze? Anticipo la risposta dicendo che ciò dipende dal fatto che il cervello crea una descrizione, e che tale descrizione si dispiega in immagini. Allorché nelle cortecce sensitive di ordine inferiore si formano immagini corrispondenti a un'entità appena percepita (ad esempio un volto), *il cervello reagisce a queste immagini*: ciò accade perché i segnali che da esse scaturiscono vengono trasmessi a svariati nuclei subcorticali (ad esempio l'amigdala, il talamo) e a molte regioni corticali, e perché quei nuclei e quelle regioni corticali contengono disposizioni per rispondere a certe classi di segnali. Il risultato finale è una attivazione delle rappresentazioni disposizionali nei nuclei e nelle regioni corticali, con la conseguenza di indurre una serie di cambiamenti nello stato dell'organismo. A loro volta, questi cambiamenti alterano in un istante l'immagine corporea, e in tal modo turbano la caratterizzazione *presente* del concetto del sé.

Il processo di risposta implica conoscenza, ma di sicuro non implica che un qualsiasi componente del cervello « sappia » che si stanno generando risposte alla presenza di un'entità. Quando il cervello di un organismo genera un insieme di risposte a un'entità, l'esistenza di una rappresentazione del sé non fa *sapere* al sé che l'organismo corrispondente sta rispondendo. Il sé come lo abbiamo descritto finora non può *sapere*. Potrebbe tuttavia sapere un processo definibile « metasé », a condizione che: 1) il cervello creasse qualche forma di *descrizione della perturbazione dello stato dell'organismo* risultante dalle risposte del cervello alla presenza di un'immagine; 2) la descrizione *generasse un'immagine del processo di perturbazione*; 3) l'immagine del *sé perturbato* venisse dispiegata insieme o in rapida interpolazione con l'immagine che ha innescato la perturbazione. In breve, questa descrizione riguarda la *perturbazione dello stato dell'organismo*, come risultato delle risposte

del cervello all'immagine dell'oggetto *X*. Essa non fa uso del linguaggio, anche se può essere tradotta nel linguaggio.

Il solo avere un'immagine non è sufficiente, anche facendo appello all'attenzione e alla consapevolezza, perché l'una e l'altra sono proprietà di un sé che fa esperienza di immagini – cioè che è reso consapevole delle immagini alle quali è intento. Ma nemmeno è sufficiente avere le immagini *e anche* un sé. Dire che l'immagine di un oggetto è riferita alle immagini che costituiscono il sé, o è correlata con esse, non è un'affermazione particolarmente utile: non si capirebbe in che cosa consistano il riferimento o la correlazione, o che cosa ottengano. Rimarrebbe del tutto misterioso in quale modo da tale processo emerga la soggettività.

Si considerino, ora, le seguenti possibilità. Innanzitutto, il cervello possiede un terzo insieme di strutture neurali, che non è quello che supporta l'immagine di un oggetto, e nemmeno quello che supporta le immagini del sé, ma che è interconnesso con entrambi, nei due sensi. In altre parole, è il tipo di insieme di neuroni « di terza persona » che abbiamo chiamato zona di convergenza e al quale abbiamo fatto appello come substrato neurale per costruire rappresentazioni disposizionali in tutto il cervello, nelle regioni corticali come nei nuclei subcorticali.

Si immagini ora che tale insieme, *quando l'organismo è perturbato dalla rappresentazione dell'oggetto*, riceva segnali sia da questa sia dalla rappresentazione del sé. Si immagini, cioè, che esso costruisca *una rappresentazione disposizionale del sé nel processo di cambiamento mentre l'organismo risponde a un oggetto*. Non vi sarebbe alcunché di misterioso, in questa rappresentazione disposizionale, che risulta proprio del tipo di quelle che il cervello è straordinariamente bravo a contenere, foggiare e rimodellare. Sappiamo anche che il cervello ha tutta l'informazione che

occorre per costruire tale rappresentazione disposizionale. Poco dopo avere visto un oggetto e averne avuto una rappresentazione nelle cortecce visive di ordine inferiore, si hanno anche molte rappresentazioni dell'organismo che reagisce all'oggetto, in varie regioni somatosensitive.

La rappresentazione disposizionale che io ho in mente non è creata né percepita da un omuncolo e (come è tipico di tutte le disposizioni) è in grado di riattivare, nelle cortecce sensitive di ordine inferiore alle quali è connessa, un'immagine di ciò a cui la disposizione attiene: un'immagine somatosensoriale dell'organismo che risponde a un particolare oggetto.

Infine, si consideri che tutti gli ingredienti da me descritti (un oggetto che viene rappresentato, un organismo che risponde all'oggetto della rappresentazione, uno stato del sé nel processo di cambiamento dovuto alla risposta dell'organismo all'oggetto) sono tenuti simultaneamente nella memoria operativa e sono seguiti (l'uno accanto all'altro, o in rapida interpolazione) nelle cortecce sensitive di ordine inferiore. Io suggerisco che la soggettività emerga nel corso dell'ultimo passo, quando il cervello produce non solo immagini di un oggetto, non solo immagini delle risposte dell'organismo all'oggetto, ma immagini di un terzo tipo, cioè immagini di un organismo nell'atto di percepire un oggetto e di rispondervi. Credo che la prospettiva soggettiva scaturisca dal contenuto delle immagini di questo terzo tipo.

Il dispositivo neurale minimo capace di produrre soggettività richiede allora: cortecce sensitive di ordine inferiore, ivi incluse quelle somatosensitive; regioni di associazione corticali, sensitive e motorie; nuclei subcorticali (in particolare talamo e gangli basali) con proprietà di convergenza, capaci di agire come insiemi « di terza persona ».

Tale dispositivo non richiede il linguaggio. La co-

struzione del metasé che io propongo è puramente non verbale: una vista schematica dei principali protagonisti secondo una prospettiva che è esterna a entrambi. In effetti, questa costituisce, momento per momento, una documentazione narrativa non verbale di quel che accade a quei protagonisti. Si può realizzare la narrazione senza linguaggio, usando gli strumenti elementari di rappresentazione dei sistemi sensitivo e motorio nello spazio e nel tempo. Non vedo ragione per cui animali privi di linguaggio non dovrebbero esserne capaci.

Agli esseri umani, il linguaggio offre la capacità di una narrazione del secondo ordine: esso può produrre narrazioni verbali, a parte quelle non verbali, ed emergerebbe da tale processo la raffinata forma di soggettività che ci caratterizza. Il linguaggio forse non costituisce la sorgente del sé, ma di certo è la sorgente dell'« io ».

Non sono a conoscenza di altre proposte specifiche per dare una base neurale alla soggettività; ma siccome questa è una caratteristica chiave della coscienza, è opportuno notare, sia pure brevemente, i punti di contatto tra la mia proposta e le altre avanzate in questo campo.

L'ipotesi di Francis Crick sulla coscienza si concentra sul problema della produzione di immagini e omette completamente quello della soggettività: non perché egli lo ignori, ma perché ha deciso di non occuparsene, per ora, dubitando che si possa affrontarlo per via sperimentale. La sua scelta e la sua cautela sono del tutto legittime; ma non vorrei che, rimandando la considerazione della soggettività, ci trovassimo incapaci di interpretare in modo corretto i dati empirici riguardanti la produzione e la percezione di immagini.

Quanto all'ipotesi di Daniel Dennett, essa attiene all'estremo alto della coscienza, ai prodotti finali della mente. Egli conviene sull'esistenza di un sé, ma non si volge a considerarne le basi neurali e in-

vece si concentra sui meccanismi che potrebbero consentire di creare l'esperienza di un flusso di coscienza. È interessante osservare che, al livello di processo, egli ricorre a una nozione di costruzione di sequenze (la sua macchina virtuale joyciana) non dissimile da quella di costruzione di immagini che impiego io, a un livello precedente e più basso. Sono sicuro, comunque, che il mio dispositivo per generare la soggettività non è la macchina virtuale di Dennett.

La mia proposta condivide una caratteristica importante con quanto sostiene Gerald Edelman sulle basi neurali della coscienza, e cioè il riconoscimento di un sé biologico impregnato di valori. (Tra i teorici contemporanei, Edelman si può dire sia stato l'unico ad accordare importanza ai valori innati nei sistemi biologici). Egli però limita il sé biologico ai sistemi omeostatici subcorticali, mentre io lo incorporo in effettivi sistemi a base corticale e ammetto che i prodotti della loro attività divengano sentimenti. Sono diversi, quindi, i processi che io descrivo e le strutture necessarie – nel mio schema – per compierli. Inoltre, io non so dire quanto la mia nozione di soggettività corrisponda alla nozione di coscienza primaria di Edelman.

William James pensava che nessuna psicologia ragionevole potesse mettere in dubbio l'esistenza di «sé personali»; egli credeva che la psicologia non potesse fare cosa peggiore che togliere significato a tali sé. Oggi, forse, egli sarebbe lieto di scoprire che la base neurale del sé ha trovato ipotesi plausibili, seppure non ancora provate.

11
LA PASSIONE DEL RAGIONARE

All'inizio del libro ho suggerito che i sentimenti influenzino in forte misura la ragione, che i sistemi cerebrali richiesti dai primi siano fusi in quelli necessari per la seconda e che tali sistemi specifici si intreccino con quelli che regolano il corpo.

In generale i fatti fin qui esposti confortano le mie ipotesi, che tuttavia restano tali, e sono presentate nella speranza che possano suscitare altri studi ed essere sottoposte a revisione quando nuove scoperte si aggiungeranno. Sembra davvero che i sentimenti dipendano da uno specifico sistema a molti componenti, che è indissociabile dalla regolazione biologica; sembra davvero che la ragione dipenda da specifici sistemi cerebrali, e accade che alcuni di questi elaborino i sentimenti. Può quindi esistere un tracciato di collegamento (in termini anatomici e funzionali) dalla ragione ai sentimenti al corpo. È come se noi fossimo posseduti da una passione per la ragione: un impulso che ha origine nel nucleo del cervello, permea gli altri livelli del sistema nervoso ed emerge sotto forma di sentimenti o inclinazioni inconsce a guidare il processo di decisione. La

ragione (da quella pratica a quella teoretica) probabilmente è costruita su questa spinta intrinseca mediante un processo che assomiglia all'abile esercizio di una competenza o di una capacità. Tolta tale spinta, non si può acquisire alcuna maestria; ma averla non basta per diventare automaticamente un maestro.

Se le mie ipotesi fossero confermate, ne deriverebbero implicazioni di natura socioculturale per il punto di vista che la ragione non è mai pura? Io credo di sì, e credo che esse siano in larga misura positive.

Sapere che i sentimenti possono essere importanti nei processi della ragione *non* suggerisce che questa sia meno importante di quelli, che rispetto ai sentimenti la ragione debba essere posta in secondo piano, che debba essere coltivata meno. Al contrario, una valutazione attenta del ruolo diffuso dei sentimenti può consentirci di esaltarne gli effetti positivi e di attenuarne la potenziale nocività. In particolare, senza sminuire il valore orientativo dei normali sentimenti, si proteggerà la ragione dalle pecche che i sentimenti anormali o la manipolazione dei sentimenti normali possono introdurre nel processo di pianificazione e decisione.

Non credo che conoscere i sentimenti ci renderebbe meno propensi alle conferme empiriche; quel che riesco a vedere è che una maggiore conoscenza della fisiologia di emozioni e sentimenti dovrebbe renderci più consapevoli delle insidie dell'osservazione scientifica. La mia esposizione non dovrebbe farci meno determinati a controllare le circostanze esterne, a vantaggio di singoli e società, o meno risoluti a inventare, sviluppare o perfezionare gli strumenti culturali che possono migliorare il mondo: etica, leggi, arti, scienza, tecnologia. In altre parole, nella mia esposizione nulla spinge ad accettare le cose così come sono. Devo insistere su questo punto, perché spesso basta menzionare i

sentimenti per evocare un'immagine di sollecitudine auto-orientata, di noncuranza per il mondo esterno, di indulgenza verso livelli meno alti di prestazione intellettuale. Ma questo è proprio l'esatto contrario della mia posizione, e un assillo in meno per quanti (come il biologo molecolare Gunther Stent) hanno giustamente paventato che una sopravvalutazione dei sentimenti potesse indebolire la determinazione a promuovere il patto faustiano che ha dato il progresso all'umanità.[1]

Quello che turba me è che si riconosca l'importanza dei sentimenti senza sforzarsi di comprenderne il complesso apparato biologico e socioculturale. L'esempio migliore di tale atteggiamento si può trovare nel tentativo di spiegare i sentimenti feriti o i comportamenti irrazionali facendo appello a cause sociali di superficie o all'azione di neurotrasmettitori (due spiegazioni ampiamente diffuse nei mezzi di comunicazione di massa – stampa e cinema o TV); come pure nel tentativo di risolvere problemi personali e sociali con il ricorso a sostanze medicinali e anche non medicinali. È motivo di allarme proprio tale mancata comprensione della natura dei sentimenti e della ragione (uno dei contrassegni della « cultura del piagnisteo »).[2]

L'idea di organismo umano delineata in questo libro, e la relazione tra sentimenti e ragione che emerge dai risultati fin qui discussi, suggeriscono tuttavia che un rafforzamento della razionalità richieda di accordare maggiore attenzione alla vulnerabilità del mondo di dentro.

Su un versante più pratico, il ruolo dei sentimenti nel farsi della razionalità si ripercuote su alcune questioni sociali; in particolare su quelle della istruzione e della violenza. Non è questa la sede per affrontarle in modo adeguato, ma voglio osservare almeno che, se si mettessero in piena luce le inequivocabili connessioni tra sentimenti presenti e futuri esiti previsti, i sistemi educativi potrebbero trarne

beneficio; inoltre, un'eccessiva esposizione dei minori alla violenza – nella vita reale, nei notiziari, negli spettacoli – degrada il valore delle emozioni e dei sentimenti per l'acquisizione e l'attuazione di un comportamento sociale adattativo. Il fatto che tanta violenza sostitutiva venga presentata senza una cornice morale di riferimento ha solo l'effetto di aggravarne l'azione desensibilizzante.

L'errore di Cartesio

Non sarebbe stato possibile esporre i miei punti di vista, in questa conversazione, senza citare Cartesio, simbolo di una serie di idee sul corpo, sul cervello e sulla mente che in un modo o nell'altro continuano a influenzare la scienza e la cultura occidentali. A me provocano disagio, come si è visto, sia la concezione dualistica per la quale Cartesio scinde la mente dal cervello e dal corpo (e che, nella versione estrema, è meno dominante), sia le varianti moderne di essa: l'idea, per dirne una, che mente e cervello siano sì in relazione, ma solo nel senso che la mente è il programma (il software) che gira in un pezzo di hardware di un calcolatore chiamato cervello; oppure che il cervello e il corpo siano sì in relazione, ma solo nel senso che il primo non può sopravvivere senza il supporto vitale del secondo.

Qual era, allora, l'errore di Cartesio? O meglio, *quale* errore di Cartesio io intendo isolare, senza rispetto né gratitudine? Si potrebbe cominciare con una rimostranza: rimproverargli di avere convinto i biologi ad adottare (fino ai nostri giorni) meccanismi simili a orologi come modelli per i processi della vita. Ma questo forse non sarebbe proprio corretto; e allora si potrebbe continuare con il « Penso, dunque sono ». L'enunciato, il più famoso di tutta la storia della filosofia, appare per la prima volta in francese (« Je pense donc je suis ») nella parte quar-

ta del *Discours de la méthode* (1637) e poi in latino (« Cogito ergo sum ») nella parte prima dei *Principia Philosophiae* (1644).[3] Preso alla lettera, esso esprime esattamente il contrario di ciò che io credo vero riguardo alle origini della mente e riguardo alla relazione tra mente e corpo; esso suggerisce che il pensare, e la consapevolezza di pensare, siano i veri substrati dell'essere. E siccome sappiamo che Cartesio immaginava il pensare come un'attività affatto separata dal corpo, esso celebra la separazione della mente, la « cosa pensante » (*res cogitans*), dal corpo non pensante, dotato di estensione e di parti meccaniche (*res extensa*).

E tuttavia, assai prima dell'alba dell'umanità gli esseri erano esseri. A un certo punto dell'evoluzione, una coscienza elementare ebbe inizio. Con essa arrivò una mente, semplice; aumentando la complessità della mente, sopravvenne la possibilità di pensare e, ancora più tardi, di usare il linguaggio per comunicare e organizzare meglio il pensiero. Per noi, allora, all'inizio vi fu l'essere e solo in seguito vi fu il pensiero; e noi adesso, quando veniamo al mondo e ci sviluppiamo, ancora cominciamo con l'essere e solo in seguito pensiamo. Noi siamo, e quindi pensiamo; e pensiamo solo nella misura in cui siamo, dal momento che il pensare è causato dalle strutture e dalle attività dell'essere.

Se proviamo a ricollocare l'enunciato cartesiano nel contesto a cui appartiene, possiamo chiederci se potrebbe avere un significato diverso da quello che ha assunto. È possibile leggerlo come il riconoscimento della superiorità del sentire e del ragionare consci, senza alcuna presa di posizione riguardo alla loro origine, sostanza o persistenza? È possibile che esso sia servito al sagace scopo di contenere pressioni religiose delle quali Cartesio era ben consapevole? Questa seconda possibilità non vi è modo di accertarla. Sulla propria tomba, Cartesio volle che fosse apposta una frase di Ovidio: « Bene qui latuit,

bene vixit » (*Tristia*, III, 4, v. 25), alla quale (sembra) egli fece ricorso di frequente. « È vissuto bene chi bene si è celato »: una criptica abiura dal dualismo, forse? Quanto alla prima, di possibilità, io credo d'altra parte che Cartesio intendesse *anche* precisamente quello che scrisse. Alla comparsa di quelle celebri parole, egli gioisce della scoperta di una proposizione così irrefutabilmente vera che non v'è scetticismo in grado di incrinarla:

« E notando che questa verità: *io penso, dunque sono*, era così solida e sicura che tutte le più stravaganti supposizioni degli scettici non erano capaci di scuoterla, giudicai di poterla accogliere senza scrupolo come il primo principio della filosofia che cercavo ».[4]

Qui Cartesio voleva giungere a un fondamento logico per la propria filosofia, e il suo enunciato non differiva dal « Fallor ergo sum » di sant'Agostino.[5] Ma poche righe più avanti egli chiarisce la propria affermazione in modo che non si presta a equivoci:

« Pervenni in tal modo a conoscere che io ero una sostanza, la cui intera essenza o natura consiste nel pensare, e che per esistere non ha bisogno di alcun luogo, né dipende da alcuna cosa materiale. Di guisa che questo io, cioè l'anima, per opera della quale io sono quel che sono, è interamente distinta dal corpo, ed è anzi più facile a conoscere di questo; e anche se questo non fosse affatto, essa non cesserebbe di essere tutto quello che è ».[6]

Eccolo, l'errore di Cartesio: ecco l'abissale separazione tra corpo e mente – tra la materia del corpo, dotata di dimensioni, mossa meccanicamente, infinitamente divisibile, da un lato, e la « stoffa » della mente, non misurabile, priva di dimensioni, non attivabile con un comando meccanico, non divisibile; ecco il suggerimento che il giudizio morale e il ragionamento e la sofferenza che viene dal dolore fisico o da turbamento emotivo possano esistere separati dal

corpo. In particolare: la separazione delle più elaborate attività della mente dalla struttura e dal funzionamento di un organismo biologico.

Ma perché – si potrebbe obiettare – far tante questioni con Cartesio e non con Platone, le cui opinioni sul corpo e sulla mente, quali si possono ritrovare nel *Fedone*, sono assai più irritanti? Perché prendersela per questo particolare errore di Cartesio – che, dopo tutto, ne fece anche altri, e più marchiani? Ad esempio, egli credette che fosse il calore a fare circolare il sangue, e che le minuscole, finissime particelle di sangue si distillassero in « spiriti animali », capaci di muovere i muscoli. Perché non criticarlo per queste sue convinzioni? La ragione è semplice: si sa da molto tempo che su questi punti egli si sbagliava, e la questione di come e perché il sangue circoli è stata risolta nel modo più soddisfacente. Non si può dire lo stesso per quanto riguarda mente, cervello e corpo, e qui l'errore di Cartesio mantiene una certa influenza: molti ancora pensano che le sue opinioni siano di per sé evidenti, e che non richiedano alcun riesame.

L'idea cartesiana di una mente scissa dal corpo può essere stata, attorno alla metà del ventesimo secolo, l'origine della metafora della mente come programma di software. Infatti, se la mente può essere separata dal corpo, forse si può tentare di comprenderla senza alcun ricorso alla neurobiologia, senza che occorra lasciarsi influenzare da conoscenze di neuroanatomia, di neurofisiologia, di neurochimica. Ed è interessante notare questo paradosso: molti scienziati cognitivisti, convinti di poter indagare la mente senza rifarsi alla neurobiologia, non si considererebbero dualisti.

Può esservi qualche venatura cartesiana di separatezza dal corpo anche dietro il pensiero di quei neuroscienziati i quali sostengono che è possibile dare piena spiegazione della mente solo in termini

di eventi cerebrali, lasciando ai margini il resto dell'organismo e l'ambiente fisico e sociale che lo circonda – e anche il fatto che parte dell'ambiente è essa stessa un prodotto delle precedenti attività dell'organismo. Io respingo questa limitazione, non perché la mente non sia correlata in via diretta con l'attività del cervello (è evidente che lo è), quanto perché la formulazione restrittiva è incompleta senza che ve ne sia necessità e insoddisfacente dal punto di vista umano: dire che la mente viene dal cervello è affermazione irrefutabile, ma io credo che sia meglio precisarla, e considerare le ragioni per le quali i neuroni del cervello si comportano in modo così meditato: è questa, a mio parere, la questione critica.

Sembra, inoltre, che l'idea di una mente distaccata dal corpo abbia foggiato il peculiare modo in cui la medicina occidentale affronta lo studio e il trattamento della malattia (si veda il « Post scriptum »). La scissione cartesiana permea sia la ricerca sia la pratica medica; con il risultato che le conseguenze psicologiche delle malattie del corpo in senso stretto (le cosiddette « vere » malattie) di solito vengono trascurate, e prese in considerazione, semmai, solo in un secondo momento. Ancora più trascurati sono i fenomeni inversi, cioè gli effetti somatici di conflitti psicologici. È suggestivo pensare che Cartesio contribuì a modificare il corso della medicina, a far sì che essa deviasse dall'orientamento organico, o meglio « organismico » (« la-mente-è-nel-corpo ») che era prevalso dai tempi di Ippocrate fino al Rinascimento. Quanto sarebbe stato infastidito da Cartesio, Aristotele, se l'avesse conosciuto!

Svariate versioni dell'errore di Cartesio celano che le radici della mente umana si trovano in un organismo biologicamente complesso ma fragile, finito e unico; tengono nell'ombra la tragedia implicita nel conoscere tale fragilità, finitezza e unicità. E se gli esseri umani non riescono a vedere l'intrinseco

dramma di un'esistenza conscia, tanto meno si sentiranno chiamati a fare qualcosa per attenuarlo, e possono avere meno rispetto per il valore della vita.

I fatti che ho esposto riguardo a sentimenti e ragione, assieme agli altri che ho discusso sulle interconnessioni tra cervello e corpo, confortano l'idea generale presentata all'inizio del libro: una piena comprensione della mente umana richiede una prospettiva integrata: la mente non solo deve muovere da un « cogito » non fisico al regno dei tessuti biologici, ma deve anche essere correlata con un organismo intero, in possesso di un cervello e di un corpo integrati e in piena interazione con un ambiente fisico e sociale.

Ma la mente davvero intrisa nel corpo per come la vedo io non abbandona i livelli più raffinati di attività, quelli che ne costituiscono l'anima e lo spirito. Nella mia prospettiva, anima e spirito, con tutta la loro dignità e misura umana, sono ora stati, complessi e unici, di un organismo. Forse la cosa davvero indispensabile che noi come esseri umani possiamo fare è ricordare a noi stessi e agli altri, ogni giorno, la nostra complessità, fragilità, finitezza e unicità. E qui sta il difficile; non nel muovere lo spirito dal suo piedistallo sul nulla a un qualche sito, preservandone dignità e importanza, ma quello di riconoscerne la vulnerabilità, le umili origini, e tuttavia continuare a fare appello alla sua guida. Compito difficile davvero, ma indispensabile, rinunciando al quale sarebbe assai meglio lasciare non corretto l'errore di Cartesio.

POST SCRIPTUM

Il cuore umano in conflitto

« Non è vero che la voce del poeta debba essere mera testimonianza dell'uomo; può essere uno degli appoggi, dei pilastri che lo aiutano a resistere e a prevalere ».[1] Scritte attorno al 1950, queste parole di William Faulkner si applicano altrettanto bene anche oggi. Il pubblico al quale egli pensava di rivolgersi era quello dei suoi colleghi scrittori, ma avrebbe potuto anche destinarle a quelli di noi che studiano il cervello e la mente: la voce dello scienziato non deve essere una mera registrazione della vita quale essa è; la conoscenza scientifica può essere un pilastro che aiuti gli esseri umani a resistere e a prevalere. Questo libro è stato scritto nella convinzione che la conoscenza in generale e quella neurobiologica in particolare abbiano una parte da recitare nel destino umano; che, purché noi lo vogliamo, una più profonda conoscenza del cervello e della mente ci aiuterà a conseguire quella felicità la cui brama fu il trampolino del progresso, due secoli fa, preservando la gloriosa libertà che Paul Éluard ha descritto nella sua poesia *Liberté*.[2]

Nello stesso testo prima citato, Faulkner dice ai

suoi colleghi scrittori che essi hanno « dimenticato i problemi del cuore umano in conflitto con sé stesso: l'unica cosa che può dare buona scrittura, perché di questo soltanto vale la pena di scrivere, il tormento e il sudore ». Agli scrittori egli chiede di non lasciare spazio, nelle loro esercitazioni, « ad altro che non siano le antiche verità e certezze del cuore; le antiche, universali verità senza le quali ogni storia è effimera e condannata: amore e onore e pietà e orgoglio e compassione e sacrificio ».

È allettante, e incoraggiante, credere (forse oltre gli intendimenti di Faulkner) che la neurobiologia possa aiutarci non solo a comprendere la condizione umana e a provarne pietà, ma in tal modo anche a capire i conflitti sociali, contribuendo ad alleviarli. Con questo non si vuol suggerire che la neurobiologia possa salvare il mondo, ma soltanto che l'accumulo graduale di conoscenze sugli esseri umani può aiutarci a trovare modi migliori di amministrare le umane vicende.

Da qualche tempo gli esseri umani si trovano in una fase nuova dell'evoluzione, una fase ricca di pensiero, in cui mente e cervello possono essere insieme servitori e padroni dei loro corpi e delle società che essi costituiscono. Certo non mancano i rischi, quando menti e cervelli che hanno avuto origine dalla natura cominciano a fare gli apprendisti stregoni, per influenzare la natura stessa; ma anche il non raccogliere la sfida, il non tentare di ridurre al minimo la sofferenza comporta qualche rischio. In effetti, non fare nulla è enormemente rischioso; fare appena ciò che va da sé, in modo naturale, può soddisfare solo quanti non riescono a immaginare mondi migliori e modi migliori, quanti credono che noi già viviamo nel migliore dei mondi possibili.[3]

La neurobiologia moderna e l'idea di medicina

Se consideriamo il concetto di medicina e coloro che la praticano, nella nostra cultura, troviamo qualcosa di paradossale. Molti medici si interessano di arte, di letteratura, di filosofia; non pochi sono diventati eminenti poeti, o romanzieri, o autori di teatro; altri, poi, ci hanno dato riflessioni profonde sulla condizione umana nelle sue varie dimensioni: psicologica, sociale, politica. E tuttavia le scuole di medicina dalle quali essi provengono ignorano, in larga misura, questi versanti, e si concentrano piuttosto sulla fisiologia e sulla patologia del corpo. La medicina occidentale (e quella degli Stati Uniti in particolare) ha raggiunto mete gloriose attraverso l'espansione della medicina interna e delle varie branche della chirurgia, queste e quella mirando alla diagnosi e al trattamento di organi e sistemi malati, ivi incluso il cervello (o, più precisamente, il sistema nervoso centrale e quello periferico), che è uno di tali sistemi di organi. Ma il suo prodotto più prezioso, la mente, è stato poco considerato dal filone principale della medicina; esso, in effetti, non è stato l'oggetto centrale della disciplina (la neurologia) che è emersa dallo studio delle malattie del cervello. Forse non per caso la neurologia americana ha avuto inizio come una sotto-specializzazione della medicina interna, conquistandosi solo in questo secolo una propria autonomia.

Da questa tradizione deriva il fatto che la mente come funzione dell'organismo è stata vistosamente trascurata. Ancora oggi sono poche le scuole di medicina che offrono ai loro studenti una precisa formazione sulla mente normale – il che implicherebbe una forte presenza, nel piano di studi, di psicologia, neuropsicologia e neuroscienze. Si studiano la mente e i suoi disturbi quando si affrontano le malattie mentali; ma è sorprendente che gli studenti si

occupino di psicopatologia senza aver mai seguito un corso di psicologia generale.

Si possono addurre diverse ragioni per spiegarlo; ragioni per lo più riconducibili, secondo me, a una impostazione cartesiana. Negli ultimi tre secoli, gli studi di medicina e di biologia hanno voluto comprendere la fisiologia e la patologia del corpo, escludendone la mente, in buona misura lasciata alle cure della filosofia e della religione. Anche quando essa divenne il punto focale di una specifica disciplina (la psicologia), non riuscì a guadagnarsi l'accesso alla biologia o alla medicina – almeno fino a tempi recenti. So che questo panorama ammette alcune lodevoli eccezioni, ma esse non fanno che rafforzare la mia idea sul quadro d'assieme.

Ne risulta che è stato amputato il concetto di umanità con il quale la medicina opera; e allora non sorprende che, in generale, le conseguenze sulla mente delle malattie del corpo siano prese in considerazione solo in un secondo momento, o non lo siano affatto. La medicina ha stentato a riconoscere che la percezione della propria condizione di salute da parte del paziente è un fattore importante, per l'esito della cura. Ancora troppo poco si sa sull'effetto placebo, attraverso il quale il paziente dà una risposta più positiva di quanto un dato intervento medico lascerebbe pensare. (L'effetto placebo può essere stimato analizzando i risultati della somministrazione di pillole o iniezioni che, all'insaputa del paziente, non contengono alcun principio farmacologico attivo, per cui si presume che non dovrebbero esplicare alcuna influenza, né positiva né negativa). Per esempio, non sappiamo quali soggetti è più probabile che rispondano con un effetto placebo, o se l'effetto possa manifestarsi in tutti i soggetti; nemmeno sappiamo fino a che punto possa spingersi, l'effetto placebo, e con quali differenze rispetto alla somministrazione del principio attivo. Poco sappiamo sui possibili modi di esaltarne la portata; e non

abbiamo alcuna idea del grado di errore che l'effetto placebo può avere creato per i cosiddetti studi in doppio cieco.

Si comincia finalmente ad accettare il fatto che disturbi psicologici, lievi o gravi, possono provocare malattie somatiche, ma ancora non si studiano le circostanze – e la misura – in cui ciò può avvenire. Eppure sono tutte cose che le nostre nonne conoscevano bene: esse sapevano dirci come il dolore, le preoccupazioni ossessionanti o gli eccessi d'ira facessero male al cuore, fossero causa di ulcera, minassero la costituzione fisica e ci rendessero più facilmente soggetti a infezioni. Ma tutto ciò era troppo « folcloristico », troppo « dolce », con riferimento alla scienza: e le cose andarono come andarono. C'è voluto molto tempo perché la medicina cominciasse a scoprire che valeva la pena di considerare a fondo le basi di tale forma di saggezza umana.

Nella biologia e nella medicina occidentali, l'orientamento cartesiano, che portava a trascurare la mente, ha avuto due pesanti conseguenze negative. La prima nel campo strettamente scientifico: è stato ritardato di svariati decenni ogni serio sforzo di comprendere la mente in termini biologici generali; anzi è più giusto dire che esso è a malapena cominciato. Meglio tardi che mai, certo; ma il ritardo significa anche che fin qui si è perduta qualsiasi possibile influenza che una profonda comprensione della biologia della mente avrebbe potuto esercitare.

La seconda conseguenza negativa riguarda l'efficacia della diagnosi e del trattamento delle malattie. È sicuramente vero che i grandi medici sono stati non solo profondi conoscitori della fisiopatologia del loro tempo, ma anche individui capaci, grazie alla saggezza accumulata e alla propria intuizione, di leggere nel cuore umano in conflitto. Grazie a una *combinazione* di conoscenza e di talento, essi si sono dimostrati sagaci diagnostici e abilissimi operatori. Ma inganneremmo noi stessi se pensassimo

che lo standard della pratica medica nel mondo occidentale sia quello definito da tali illustri esponenti. Una visione distorta dell'organismo umano, insieme con la soverchiante crescita delle conoscenze e con l'esigenza di specializzazioni sempre più spinte, contribuisce ad aggravare l'inadeguatezza della medicina, piuttosto che a ridurla. Non c'era proprio bisogno che sopravvenissero i problemi economici; ma si sono aggiunti anche questi, ed è certo che le prestazioni sanitarie ne saranno peggiorate.

Il più vasto pubblico non ha ancora ben chiaro il problema della scissione tra corpo e mente nella medicina occidentale, anche se sembra averlo colto. Arrivo a pensare che il successo di alcune forme « alternative » di medicina, soprattutto di quelle che si rifanno a tradizioni non occidentali di terapia, possa rappresentare una risposta riequilibratrice al problema. Del resto, in esse qualcosa da ammirare e da imparare c'è, anche se – a prescindere dalla loro adeguatezza sul versante umano – quello che ci offrono non è sufficiente per trattare in modo efficace la malattia. Bisogna onestamente riconoscere che la medicina occidentale, anche quella mediocre, risolve un gran numero di problemi, e in modo decisivo. Ma le forme alternative di medicina indicano con forza un'area di lampante debolezza della tradizione medica occidentale, che richiede di essere corretta, in modo scientifico, rimanendo all'interno della medicina scientifica. Se, come io penso, il favore di cui attualmente godono le medicine alternative è una spia della diffusa insoddisfazione per l'incapacità, da parte della medicina tradizionale, di considerare l'individuo umano nella sua interezza, allora credo che tale insoddisfazione aumenterà, negli anni a venire, con l'approfondirsi della crisi spirituale della società occidentale.

L'offesa dei sentimenti, il dolore e la sofferenza individuali che disperatamente implorano sollievo, la perdita di un mai raggiunto senso di felicità e di

equilibrio interiore (cui aspira la maggioranza degli esseri umani) non sembrano destinati ad attenuarsi tanto presto.[4] Sarebbe sciocco chiedere alla sola medicina di curare una cultura malata; ma è altrettanto sciocco ignorare questi aspetti del malessere umano.

Una nota sui presenti limiti della neurobiologia

Ho parlato, in questo libro, di fatti acquisiti, di fatti ancora discussi e di interpretazioni di fatti; di idee condivise o non condivise da molti degli scienziati che si occupano del cervello e della mente; di cose che stanno così come io le espongo, e di cose che potrebbero stare nel modo in cui io le espongo. La mia insistenza nel ripetere che tanti « fatti » sono incerti, e che molto di ciò che si può dire sul cervello rientra piuttosto nella categoria delle ipotesi di lavoro, può avere sorpreso il lettore. Mi piacerebbe poter affermare che si sa con certezza in qual modo il cervello produce la mente, ma non sono in grado di farlo, e temo che nessuno lo sia.

Aggiungo subito che la mancanza di risposte definitive sul tema mente/cervello non dà motivo di disperare, né deve essere vista come spia di un fallimento dei settori scientifici che se ne occupano. Al contrario, il morale della truppa è alto, perché le nuove scoperte si susseguono a un ritmo che non è mai stato così intenso. Mancano, è vero, descrizioni precise e interpretazioni complessive, ma ciò non indica che si sia imboccato un vicolo cieco: anzi, vi è motivo di credere che si arriverà a spiegazioni soddisfacenti, anche se sarebbe sconsiderato voler fissare una data d'arrivo, o peggio sostenere che esse sono dietro l'angolo. Se motivo di preoccupazione può esservi, questo deriva non dalla mancanza di progressi, ma dal tumultuoso affluire di nuovi fatti che le neuroscienze propongono di continuo e che

minacciano di ingolfare la nostra capacità di fare chiarezza.

Si potrebbe obiettare: perché, con una tale ricchezza di nuovi fatti, mancano ancora le risposte definitive? Perché non siamo in grado di spiegare esattamente e compiutamente in qual modo vediamo e, soprattutto, come avviene che vi sia un sé che vede?

La principale (si potrebbe anche dire l'unica) ragione del ritardo è la complessità stessa dei problemi per i quali cerchiamo risposta. È evidente che ciò che vogliamo comprendere dipende in larga misura dal funzionamento dei neuroni. Della loro struttura e del loro modo di operare abbiamo una buona conoscenza, fino al livello delle molecole che ne sono i costituenti e che gli fanno fare quello che fanno meglio: scaricare, o conformarsi in schemi di eccitazione. Inoltre, sappiamo qualcosa sui geni che danno luogo ai neuroni e che li fanno operare in un certo modo. Ma è chiaro che la mente umana dipende dalla scarica globale di tutti quei neuroni, che formano insiemi complicati: dai circuiti microscopici a scala locale ai sistemi macroscopici estesi anche diversi centimetri. Nei circuiti di un cervello umano vi sono miliardi di neuroni; il numero delle sinapsi formate fra tali neuroni non è inferiore a 10 miliardi, e la lunghezza totale degli assoni che formano i circuiti di neuroni è dell'ordine delle svariate centinaia di migliaia di chilometri (per queste stime informali sono debitore a Charles Stevens, neurobiologo del Salk Institute). L'attività di questi circuiti produce uno schema di scarica che viene trasmesso a un altro circuito; questo a sua volta può scaricare oppure no, in dipendenza da una miriade di influenze: alcune locali, provenienti da altri neuroni che hanno termine nell'intorno, e altre globali, dovute a composti chimici (come gli ormoni) portati dal sangue. La dimensione temporale della scarica è estremamente piccola, dell'ordine delle decine di

millisecondi: ciò significa che nello spazio di un secondo della vita della mente il cervello produce milioni di schemi di scarica per un'ampia varietà di circuiti distribuiti in varie regioni del cervello.

Dovrebbe quindi essere chiaro che non è possibile scoprire i segreti delle basi neurali della mente chiarendo tutti i misteri di un neurone isolato, a prescindere da quanto tipico esso possa risultare, o ricostruendo tutti gli intricati schemi di attività locale in un tipico circuito di neuroni. In prima approssimazione, i segreti elementari della mente risiedono nell'interazione di schemi di scarica generati da molti circuiti di neuroni, localmente e globalmente, momento per momento, all'interno del cervello di un organismo vivente.

L'enigma mente/cervello non ammette un'unica, semplice risposta, ma piuttosto molte risposte, intonate alla miriade di componenti del sistema nervoso ai suoi vari livelli strutturali. Per comprendere questi livelli occorre fare ricorso a diverse tecniche e procedere a ritmi differenti. Il lavoro può basarsi in parte su esperimenti con animali, con sviluppi relativamente rapidi, mentre quello da compiere su esseri umani procederà con più lentezza, dovendosi osservare le opportune cautele e limitazioni.

È stato chiesto come mai le neuroscienze non abbiano raggiunto esiti altrettanto spettacolari quanto quelli della biologia molecolare degli ultimi quattro decenni; qualcuno si è anche domandato quale possa essere, nelle neuroscienze, l'equivalente della scoperta della struttura del DNA, e se sia stato stabilito qualche fatto di pari importanza. Non si può ravvisare una simile corrispondenza, anche se ad alcune acquisizioni riguardanti livelli diversi del sistema nervoso si potrebbe riconoscere un valore pratico confrontabile (ad esempio, la comprensione piena del potenziale d'azione). Ma l'equivalente vero non può che essere *un disegno su grande scala di circuiti e sistemi*, completo di descrizioni *a livello sia micro- sia macrostrutturale*.

Per il lettore che dovesse giudicare insufficienti le considerazioni appena addotte per spiegare i limiti delle conoscenze attuali, ne aggiungerò altre due. In primo luogo, come già accennato, il fatto che solo una parte dei circuiti del cervello è specificata dai geni. Il genoma umano indica in modo preciso la costruzione del nostro corpo, ivi incluso il disegno globale del cervello; ma non tutti i circuiti si sviluppano e operano attivamente secondo impostazione dei geni. In un qualsiasi istante della vita di un individuo adulto, buona parte dei circuiti del suo cervello è personale e unica, giacché riflette la storia e le vicende di quel particolare organismo; e ciò, come è facile capire, non semplifica il compito di svelare i misteri neurali. In secondo luogo, ogni organismo umano opera in collettivi di esseri simili; la mente e il comportamento degli individui membri di tali collettivi, operanti in dati ambienti fisici e culturali, non sono foggiati soltanto dai circuiti sopramenzionati, né tanto meno dai soli geni. Per raggiungere una comprensione soddisfacente del cervello che produce la mente umana e il comportamento umano è necessario valutarne il contesto culturale e sociale; e ciò rende l'impresa scoraggiante.

Leve per la sopravvivenza

In alcune specie animali (non di umani, e nemmeno di Primati) che presentano memoria, ragionamento e creatività limitati, si riscontrano tuttavia manifestazioni di comportamento sociale complesso il cui controllo neurale deve essere innato. Gli insetti (formiche e api, in particolare) offrono continui spettacolari esempi di cooperazione sociale al cui confronto l'Assemblea generale dell'ONU avrebbe di che vergognarsi. Più vicini a noi, i mammiferi mostrano una certa abbondanza di tali manifestazioni; il comportamento di lupi, delfini, vampiri,

suggerisce una struttura etica. È chiaro che gli esseri umani posseggono alcuni degli stessi meccanismi innati, e che questi costituiscono la possibile base di alcune strutture etiche impiegate dagli esseri umani. Ma le più elaborate convenzioni sociali su cui si basa la vita quotidiana devono avere avuto un'origine culturale e per via culturale devono essere state trasmesse.

Se è così, quale può essere stato l'agente che ha innescato lo sviluppo culturale di tali strategie? È verosimile che esse si siano evolute come mezzo per affrontare le sofferenze provate da individui la cui capacità di ricordare il passato e di anticipare il futuro aveva raggiunto uno sviluppo apprezzabile. In altre parole, esse si sono evolute in individui capaci di rendersi conto che la loro sopravvivenza era minacciata, o che era possibile migliorare la qualità della vita, una volta sopravvissuti. Ma ciò può essere accaduto solo nelle poche specie animali il cui cervello era strutturato in modo da presentare, in primo luogo, un'ampia capacità di memorizzare categorie di oggetti e di eventi, nonché oggetti ed eventi singoli; cioè di stabilire rappresentazioni disposizionali di entità ed eventi al livello di categorie e al livello di casi unici. In secondo luogo, occorreva un'ampia capacità di manipolare i componenti di quelle rappresentazioni memorizzate e di foggiare, per mezzo di combinazioni nuove, creazioni originali, la cui varietà più immediatamente utile era costituita da scenari immaginati: anticipazioni di esiti di azioni, elaborazione di piani per il futuro, concepimento di nuovi obiettivi capaci di rafforzare la sopravvivenza. In terzo luogo, un'ampia capacità di memorizzare le nuove creazioni sopra descritte, cioè gli esiti previsti, i nuovi piani, i nuovi obiettivi. Queste creazioni memorizzate io le chiamo « ricordi del futuro ».[5]

Se per poter affrontare la sofferenza fu necessario creare strategie sociali tali da potenziare la cono-

scenza del passato già vissuto e del futuro previsto, resta da spiegare perché, innanzitutto, insorse la sofferenza. Per questo, occorre prendere in considerazione il senso – biologicamente assegnato – del dolore e del suo opposto, il piacere. La cosa curiosa è che i meccanismi biologici sottesi da ciò che noi oggi chiamiamo piacere e dolore costituirono anche un motivo importante perché gli strumenti innati della sopravvivenza fossero selezionati e combinati così come lo furono, nell'evoluzione, quando non vi era alcuna ragione o sofferenza individuale. Questo può voler dire soltanto che lo stesso semplice dispositivo, applicato a sistemi aventi ordini di complessità assai differenti e in circostanze diverse, conduce a risultati differenti ma correlati. Il sistema immunitario, l'ipotalamo, le cortecce frontali ventromediane e la Dichiarazione dei Diritti hanno, alla radice, la stessa causa.

Dolore e piacere sono le leve di cui l'organismo ha bisogno perché le strategie istintive e quelle acquisite possano operare in modo efficiente. Con ogni probabilità, furono anche le leve che controllarono lo sviluppo di strategie per le decisioni sociali. Quando numerosi individui, riuniti in gruppi sociali, provarono le dolorose conseguenze di certi fenomeni naturali, sociali, psicologici, fu possibile lo sviluppo di strategie culturali e intellettuali che consentissero di affrontare l'esperienza del dolore e forse di ridurlo.

Dolore e piacere si hanno quando diveniamo consci di profili dello stato corporeo che costituiscono una chiara deviazione dalla gamma di base. La configurazione di stimoli e quella degli schemi di attività cerebrale avvertite come dolore o come piacere sono poste a priori, nella struttura del cervello. Dolore e piacere si hanno perché i circuiti scaricano in un certo modo, e tali circuiti esistono perché sono stati istruiti geneticamente a formarsi in un certo

modo. Le nostre reazioni al dolore e al piacere possono sì essere modificate dall'educazione, ma esse sono comunque un esempio primario di fenomeni mentali che dipendono dall'attivazione di disposizioni innate.

È opportuno distinguere almeno due componenti, nel piacere e nel dolore. Rispetto al primo, il cervello traccia la rappresentazione di una modificazione locale di stato corporeo, che viene riferita a una parte del corpo. Questa è una percezione somatosensoriale in senso proprio, derivante dalla pelle, o da una mucosa, o da una parte di un organo. Il secondo componente proviene da un più generale cambiamento di stato corporeo – in effetti, un'emozione. Se diciamo piacere o dolore, ad esempio, questo è il nome dato al concetto di un particolare paesaggio del corpo che il nostro cervello sta percependo. Nel cervello, la percezione di tale paesaggio viene ulteriormente modulata da neurotrasmettitori e neuromodulatori, che influenzano la trasmissione di segnali e il funzionamento dei settori del cervello implicati nella rappresentazione del corpo. L'emissione di endorfine (la morfina endogena dell'organismo), che si legano ai recettori degli oppioidi (simili a quelli su cui agisce la morfina), è un fattore importante per la percezione di un « paesaggio di piacere », che può cancellare o attenuare la percezione di un « paesaggio di dolore ».

Un esempio di elaborazione del dolore servirà a chiarire meglio quanto detto. A me sembra che le cose vadano in questo modo: a partire dalla stimolazione dei terminali nervosi in un'area somatica nella quale un tessuto è stato offeso (per esempio, il canale radicolare di un dente), il cervello costruisce una rappresentazione transitoria del cambiamento corporeo locale, che è differente dalle rappresentazioni precedenti della medesima area. Lo schema di attività che corrisponde ai segnali di dolore e le caratteristiche percettive della rappresentazione risul-

tante sono interamente assegnati dal cervello, ma per il resto non sono differenti, in termini neurofisiologici, da qualsiasi altro tipo di percezione corporea. Se tutto finisse qui, però, non si avvertirebbe altro che una particolare immagine di cambiamento corporeo, senza alcuna conseguenza molesta. Potrebbe non fare piacere, ma non se ne avrebbe alcun inconveniente. Quello che io sostengo è che *il processo non si ferma qui.* L'innocente elaborazione dello stato corporeo innesca rapidamente un'ondata di ulteriori cambiamenti di stato corporeo che ne accentuano lo scostamento dalla gamma di base. *Lo stato che ne consegue è un'emozione, con un profilo particolare.* Il sentimento spiacevole di sofferenza sarà formato a partire dalle successive deviazioni dello stato corporeo. Ma perché, si potrebbe chiedere, queste vengono avvertite come sofferenza? La risposta è: perché l'organismo dice così. Siamo venuti alla vita con un meccanismo preorganizzato per darci l'esperienza del dolore e del piacere. La cultura e le vicende di ciascuno possono alterare la soglia alla quale il meccanismo viene innescato, o modificarne l'intensità, o offrirci i mezzi per smorzarlo; ma l'essenza del dispositivo è data.

A che cosa serve avere un tale meccanismo preorganizzato? Perché deve esservi questo stato addizionale di disturbo, anziché la sola immagine del dolore? Qui si può solo chiederselo, ma il motivo deve avere qualcosa a che vedere con il fatto che la sofferenza ci mette sull'avviso: essa ci dà la migliore protezione per la sopravvivenza, perché accresce la probabilità che gli individui prestino attenzione ai segnali di dolore e agiscano per allontanarne la fonte o per correggerne le conseguenze.

Se il dolore è una leva per il corretto dispiegamento di pulsioni e istinti, e per lo sviluppo di strategie di decisione connesse con tale dispiegamento, ne segue che le alterazioni della percezione del dolore dovrebbero essere accompagnate da menoma-

zioni del comportamento; e sembra che così accada. Gli individui portatori dalla nascita della bizzarra condizione nota come assenza congenita di dolore non arrivano ad acquisire strategie di comportamento normale; molti di essi sembrano perennemente soddisfatti e giulivi, nonostante che la loro condizione porti a danni alle articolazioni (non avvertendo dolore, questi soggetti le forzano ben oltre i limiti di tolleranza meccanica, e in tal modo si provocano strappi ai legamenti e alle capsule) o a ferite e ustioni gravi (sono incapaci di ritrarsi dal contatto con un oggetto rovente, o con una lama che penetra nella loro carne).[6] È molto interessante scoprire che il loro comportamento presenta qualche deficit, perché essi possono ancora sentire piacere, e quindi essere influenzati da sentimenti positivi. Ma ancora più affascinante è l'ipotesi che i dispositivi di leva intervengano non solo nello sviluppo, ma anche nel dispiegamento delle strategie di decisione acquisite. I soggetti con lesioni prefrontali mostrano curiose alterazioni della risposta al dolore; per esempio, in loro è intatta l'immagine localizzabile del dolore stesso, ma sono assenti le reazioni emotive che costituiscono parte integrante del processo del dolore, o quanto meno non è normale il sentimento che ne consegue. Riguardo a tale dissociazione, inoltre, bisogna ricordare anche i pazienti che hanno subìto lesioni cerebrali di origine chirurgica a seguito di interventi per alleviare dolori cronici.

Vi sono condizioni neurologiche che comportano dolori frequenti e molto intensi, come ad esempio la nevralgia del trigemino, nota anche come *tic douloureux*. (Nevralgia vuol dire dolore di origine neurale; il trigemino innerva i tessuti della faccia e porta segnali dalla faccia al cervello). Essa riguarda la faccia, in generale un solo lato e una zona particolare: ad esempio la guancia. Un gesto del tutto innocente come un tocco lieve sulla pelle, o perfino un leggero soffio di brezza che la sfiori, possono scate-

nare d'improvviso un dolore lancinante: chi ne è colpito sente la pelle straziata da una lama, o trafitta da mille aghi che penetrano fino all'osso. Finché questo tormento continua (e può presentarsi di frequente), il paziente non riesce a pensare ad altro, non riesce a fare altro: tutta la sua esistenza ora è concentrata sul dolore, mentre il corpo si ritrae in una chiusura difensiva.

Talvolta la nevralgia mostra di resistere a ogni possibile medicamento, e si parla di condizione intrattabile, o refrattaria; in tali casi, si può ricorrere alla neurochirurgia, unica via di sollievo. Nel passato (come si è visto nel cap. 4) una possibile modalità di trattamento era la leucotomia prefrontale; e i risultati di tale intervento illustrano, meglio di qualsiasi altra circostanza, la distinzione tra il dolore in quanto tale (cioè la percezione di una certa classe di segnali sensoriali) e la sofferenza (cioè il sentimento che deriva dall'avvertire la reazione emotiva a quella percezione).

Quando ero allievo di Almeida Lima (il neurochirurgo che aiutò Egas Moniz a sviluppare la tecnica dell'angiografia cerebrale e della leucotomia prefrontale, e che in effetti fu il primo a eseguire tale operazione), fui testimone di un episodio significativo. Oltre che ottimo chirurgo, Lima era anche un individuo dotato di grande umanità; perciò aveva deciso di adottare una leucotomia modificata per affrontare i casi di dolore intrattabile, ed era convinto che fosse giustificabile ricorrere a tale procedura nei casi più disperati. Una volta, egli volle che seguissi il suo modo di procedere fin dall'inizio. Ricordo nitidamente quel paziente, rannicchiato nel suo letto in attesa dell'operazione, quasi immobile, terrorizzato dall'idea che il minimo movimento potesse provocare altro dolore. Due giorni dopo l'operazione, quando Lima e io passammo a visitarlo durante il solito giro, ci trovammo di fronte un'altra persona: sereno e rilassato, giocava a carte con uno

dei suoi compagni di stanza. Quando Lima gli chiese se il dolore lo tormentava ancora, egli lo guardò e rispose con espressione sorridente: « Oh, il dolore è lo stesso, ma adesso mi sento bene, grazie ». L'operazione sembrava aver soppresso la reazione emotiva che è parte di ciò che chiamiamo dolore: essa aveva posto fine alla sofferenza dell'uomo. L'espressione del volto, la voce, il modo di atteggiarsi erano quelli che si associano di solito a stati piacevoli, non al dolore. Ma sembrava che l'operazione avesse fatto poco all'immagine di alterazione locale della regione somatica fornita dal nervo trigemino, e questo è il motivo per cui il paziente affermava che il dolore era lo stesso. Il cervello non poteva più generare sofferenza, ma esso produceva ancora « immagini di dolore »; cioè elaborava normalmente la proiezione somatosensitiva (mappa) di un paesaggio di dolore.[7] Oltre a ciò che può dirci riguardo ai meccanismi del dolore, questo esempio rivela la separazione tra l'immagine di un'entità (lo stato del tessuto biologico che è uguale a un'immagine di dolore) e l'immagine di uno stato corporeo che specifica l'immagine dell'entità a forza di giustapposizioni nel tempo.

Io credo che la neurobiologia e la medicina dovrebbero orientarsi in modo deciso ad alleviare la sofferenza del tipo descritto più sopra. Un altro obiettivo, non meno importante, dovrebbe essere quello di alleviare la sofferenza nelle malattie mentali. Del tutto differente, e irrisolta, è la questione della sofferenza che scaturisce da conflitti personali e sociali, fuori dell'àmbito medico. Oggi si tende a cancellare ogni distinzione e a utilizzare l'orientamento medico per sopprimere qualunque tipo di disagio. I paladini di questa tendenza possono valersi di un'osservazione seducente: se un aumento del livello della serotonina, per esempio, può non solo curare la depressione, ma anche ridurre l'aggressività, rendere il soggetto meno timido, dargli

maggiore fiducia, perché non sfruttare tale opportunità? Chi, se non il guastafeste bigotto, potrebbe negare a un altro essere umano i benefici di tali farmaci miracolosi? Ma il problema, ovviamente, sta nel fatto che la scelta non è chiara, per svariate ragioni. Innanzitutto, non ci sono noti gli effetti biologici di più ampia portata dei farmaci. Restano poi altrettanto misteriose le conseguenze di un'assunzione su larga scala sociale di farmaci. In terzo luogo (e questa è forse la considerazione più importante), se la soluzione proposta per la sofferenza individuale e sociale aggira le cause del conflitto individuale e sociale, non è verosimile che possa funzionare per molto tempo. Potrà curare un sintomo, ma lascerà intatte le radici del malessere.

Non ho detto molto del piacere. Dolore e piacere non sono gemelli, o immagini speculari l'uno dell'altro – almeno non per quanto concerne il loro ruolo come leve della sopravvivenza. Il più delle volte è il segnale collegato al dolore che in qualche modo ci guida lontano da una minaccia incombente, per l'immediato o in un futuro prefigurato. È difficile immaginare che possano sopravvivere individui e società governati dalla ricerca del piacere quanto o più che dalla fuga dal dolore. Questa opinione oggi trova conferma in alcuni sviluppi sociali di culture sempre più edonistiche, oltre che nel lavoro che i miei colleghi e io stiamo conducendo sui correlati neurali delle emozioni. Sembra che vi sia una molto maggiore varietà di emozioni negative che di emozioni positive, ed è evidente che il cervello impiega sistemi differenti per trattare le une e le altre. Forse pensava a qualcosa di simile Tolstoj quando scriveva, all'inizio di *Anna Karenina*: « Tutte le famiglie felici si assomigliano fra loro, ogni famiglia infelice è infelice a suo modo ».

NOTE E FONTI BIBLIOGRAFICHE

1. Mi sono sforzato, per quanto possibile, di togliere ogni ambiguità ai termini « ragione », « razionalità » e « decisione », ma devo aggiungere che il loro significato è spesso problematico, come si argomenterà all'inizio del cap. 8. Non è, questo, un problema mio, o del lettore; un dizionario di filosofia pubblicato nei nostri giorni così dice, a proposito della ragione: « In inglese, il termine "ragione" ha avuto, e ha tuttora, un gran numero e un'ampia varietà di significati e di usi, legati l'uno all'altro in modi che sono spesso complicati e spesso non chiari... » (*Encyclopedia of Philosophy*, a cura di P. Edwards, Macmillan Publishing Co. & The Free Press, New York, 1967).

Come che sia, il lettore probabilmente troverà del tutto convenzionale l'uso che io faccio dei termini ragione e razionalità. In generale, intendo per ragione la capacità di pensare e compiere inferenze in modo logico e ordinato, e per razionalità la qualità del pensiero e del comportamento che deriva dall'adattare la ragione a un contesto personale e sociale. Non impiego ragione e decisione in modo intercambiabile, giacché non tutti i processi di ragionamento sono seguiti da una decisione.

Il lettore scoprirà anche che io non impiego nemmeno i termini emozione e sentimento in modo intercambiabile. In generale, intendo per emozione una serie di cam-

biamenti che avvengono sia nel cervello sia nel corpo, di solito stimolati da un particolare contenuto mentale. Il sentimento è la percezione di tali cambiamenti. Per un esame di tale distinzione si veda il cap. 7.

2. Darwin, C. (1871), *The Descent of Man*, Murray, London [trad. it. *L'origine dell'uomo*, UTET, Torino, 1882].

3. Chomsky, N. (1984), *Modular Approaches to the Study of the Mind*, San Diego State University Press, San Diego, Cal.

4. Flanagan, O. (1991), *The Science of the Mind*, The MIT Press/Bradford Books, Cambridge, Mass.

CAPITOLO 1

1. Harlow, J.M. (1868), *Recovery from the passage of an iron bar through the head*, in « Publications of the Massachusetts Medical Society », 2, pp. 327-47, e (1848-1849) *Passage of an iron rod through the head*, in « Boston Medical and Surgical Journal », 39, p. 389.

2. Cfr. nota 1.

3. Williams, E., citato in Bigelow, H.J. (1850), *Dr. Harlow's case of recovery from the passage of an iron bar through the head*, in « American Journal of the Medical Sciences », 19, pp. 13-22.

4. Cfr. nota 3 (Bigelow).

5. Cfr. nota 1 (1868).

6. West, N. (1939), *The Day of the Locust*, cap. 1 [trad. it. *Il giorno della locusta*, Einaudi, Torino, 1974].

7. Questo atteggiamento è esemplificato in Dupuy, E. (1873), *Examen de quelques points de la physiologie du cerveau*, Delahaye, Paris.

8. Ferrier, D. (1878), *The Goulstonian Lectures on the localisation of cerebral disease*, in « British Medical Journal », 1, pp. 399-447.

9. Per una valutazione straordinariamente acuta dei contributi di Gall si veda: Marshall, J. (1980), *The new organology*, in « The Behavioral and Brain Sciences », 3, pp. 23-25.

10. MacMillan, M.B. (1986), *A wonderful journey through skull and brains*, in « Brain and Cognition », 5, pp. 67-107.

11. Sizer, N. (1882), *Forty Years in Phrenology: Embracing Recollections of History, Anecdote and Experience*, Fowler and Wells, New York.

12. Cfr. nota 1 (1868).

CAPITOLO 2

1. Broca, P. (1865), *Sur la faculté du langage articulé*, in « Bull. Soc. Anthropol. », Paris, 6, pp. 337-93.

Wernicke, K. (1874), *Der aphasische Symptomencomplex*, Cohn und Weigert, Breslau.

Per altri particolari sulle afasie di Broca e di Wernicke, si veda: Damasio, A. in « The New England Journal of Medicine », 326, 1992, pp. 531-39; per una panoramica recente sulla neuroanatomia del linguaggio, si veda: Damasio, A.R. e Damasio, H., *Brain and Language*, in « Scientific American », 267, 1992, pp. 89-95 [trad. it. *Cervello e linguaggio*, in « Le Scienze », 291, novembre 1992].

2. Un buon testo generale di neuroanatomia è: Martin, J.H. (1989), *Neuroanatomy Text and Atlas*, Elsevier, New York; un atlante moderno del cervello umano è: Damasio, H. (1994), *Human Brain Anatomy in Computerized Images*, Oxford University Press, New York. Per un commento sull'importanza della neuroanatomia sul futuro della neurobiologia, si veda: Crick, F. e Jones, E. (1993), *The Backwardness of human neuroanatomy*, in « Nature », 361, pp. 109-110.

3. Damasio, H e Frank, R. (1992), *Three-dimensional* in vivo *mapping of brain lesions in humans*, in « Archives of Neurology », 49, pp. 137-43.

4. Si vedano: Kandel, E., Schwartz, J. e Jessell, T. (1991), *Principles of Neuroscience*, Elsevier, Amsterdam [trad. it. *Principi di neuroscienze*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1988]; Churchland, P.S. e Sejnowski, T.J. (1992), *The Computational Brain: Models and Methods on the Frontiers of Computational Neuroscience*, The MIT Press/ Bradford Books, Boston, Mass.

5. Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A.M. e Damasio, A.R. (1994), *The return of Phineas Gage:*

The skull of a famous patient yields clues about the brain, in « Science », 264, pp. 1102-105.

CAPITOLO 3

1. Fatta eccezione per Phineas Gage, in questo libro si è tutelata la riservatezza dei pazienti menzionati facendo ricorso a iniziali codificate o pseudonimi e omettendo ogni particolare biografico che consentirebbe di identificarli.

2. Molti dei test neuropsicologici ai quali faccio qui riferimento sono descritti in Lezak, M. (1983), *Neuropsychological Assessment*, Oxford University Press, New York, e in Benton, A.L. (1983), *Contributions to Neuropsychological Assessment*, Oxford University Press, New York.

3. Milner, B. (1964), *Some effects of frontal lobectomy in man*, in *The Frontal Granular Cortex and Behavior*, a cura di J.M. Warren e K. Akert, McGraw-Hill, New York.

4. Shallice, T. e Evans, M.E. (1978), *The involvement of the frontal lobes in cognitive estimation*, in « Cortex », 14, pp. 294-303.

5. Hathaway, S.R. e McKinley, J.C. (1951), *The Minnesota Multiphasic Personality Inventory Manual*, ed. rivista, Psychological Corporation, New York.

6. Kohlberg, L. (1987), *The Measurement of Moral Judgment*, Cambridge University Press, Cambridge.

7. Saver, J.L. e Damasio, A.R. (1991), *Preserved access and processing of social knowledge in a patient with acquired sociopathy due to ventromedial frontal damage*, in « Neuropsychologia », 29, pp. 1241-49.

CAPITOLO 4

1. McNeil, B.J., Pauker, S.G., Sox, H.C. e Tversky, A. (1982), *On the elicitation of preferences for alternative therapies*, in « New England Journal of Medicine », 306, pp. 1259-69.

2. Per altri particolari sulla strategia della ricerca neuropsicologica, si veda: Damasio, H. e Damasio, A.R.

(1989), *Lesion Analysis in Neuropsychology*, Oxford University Press, New York.

3. Brickner, R.M. (1934), *An interpretation of frontal lobe function based upon the study of a case of partial bilateral frontal lobectomy*, in « Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Disease », 13, pp. 259-351; e anche (1936) *The intellectual functions of the frontal lobes: Study based upon observation of a man after partial bilateral frontal lobectomy*, Macmillan, New York. Per altri studi su lesioni dei lobi frontali si veda anche: Stuss, D.T. e Benson, F.T. (1986), *The Frontal Lobes*, Raven Press, New York.

4. Hebb, D.O. e Penfield, W. (1940), *Human behavior after extensive bilateral removals from the frontal lobes*, in « Archives of Neurology and Psychiatry », 44, pp. 421-38.

5. Ackerly, S.S. e Benton, A.L. (1948), *Report of a case of bilateral frontal lobe defect*, in « Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Disease », 27, pp. 479-504.

6. Sono rare le documentazioni di casi confrontabili con quelli dei pazienti di Ackerly e di Benton; tra queste si ricordano:

Price, B.H., Daffner, K.R., Stowe, R.M. e Mesulam, M.M. (1990), *The compartmental learning disabilities of early frontal lobe damage*, in « Brain », 113, pp. 1383-93;

Grattan, L.M. e Eslinger, P.J. (1992), *Long-term psychological consequences of childhood frontal lobe lesion in patient DT*, in « Brain and Cognition », 20, pp. 185-95.

7. Moniz, E. (1936), *Tentatives opératoires dans le traitement de certaines psychoses*, Masson, Paris.

8. Per una discussione di questa e altre forme di trattamento aggressivo, si veda: Valenstein, E.S. (1986), *Great and Desperate Cures: The Rise and Decline of Psychosurgery and Other Radical Treatments for Mental Illness*, Basic Books, New York.

9. Babinski, J. (1914), *Contributions à l'étude des troubles mentaux dans l'hémiplégie organique cérébrale (anosognosie)*, in « Revue neurologique », 27, pp. 845-47.

10. Marcel, A. (1993), *Slippage in the unity of consciousness*, in *Experimental and theoretical studies of consciousness* (Ciba Foundation Symposium 174), pp. 168-86, John Wiley & Sons, New York.

11. Anderson, S.W. e Tranel, D. (1989), *Awareness of disease states following cerebral infarction, dementia, and head trauma. Standardized assessment*, in « The Clinical Neuropsychologist », 3, pp. 327-39.

12. Sperry, R.W. (1981), *Cerebral organization and behavior*, in « Science », 133, pp. 1749-57.

Bogen, J.E. e Bogen, G.M. (1969), *The other side of the brain. III: The* corpus callosum *and creativity*, in « Bull. Los Angeles Neurol. Soc. », 34, pp. 191-220.

De Renzi, E. (1982), *Disorders of Space Exploration and Cognition*, John Wiley & Sons, New York.

Bowers, D., Bauer, R.M. e Heilman, K.M. (1993), *The nonverbal affect lexicon: Theoretical perspectives from neuropsychological studies of affect perception*, in « Neuropsychologia », 7, pp. 433-44.

Mesulam, M.M. (1981), *A cortical network for directed attention and unilateral neglect*, in « Ann. Neurol. », 10, pp. 309-25.

Ross, E.D. e Mesulam, M.M. (1979), *Dominant language functions of the right hemisphere*, in « Arch. Neurol. », 36, pp. 144-48.

13. Woodward, B. e Armstrong, S. (1979), *The Brethren*, Simon & Schuster, New York.

14. Tranel, D. e Hyman, B.T. (1990), *Neuropsychological correlates of bilateral amygdala damage*, in « Archives of Neurology », 47, pp. 349-55.

Nahm, F.K.D., Damasio, H., Tranel, D. e Damasio, A. (1993), *Cross-modal associations and the human amygdala*, in « Neuropsychologia », 31, pp. 727-44.

Adolphs, R., Tranel, D. e Damasio, A. (1994), *Impaired recognition following bilateral damage to the human amygdala*, in « Nature », 372, pp. 669-72.

15. Weiskrantz, L. (1956), *Behavioral changes associated with ablations of the amygdaloid complex in monkeys*, in « Journal of Comparative and Physiological Psychology », 49, pp. 381-91.

Aggleton, J.P. e Passingham, R.E. (1981), *Syndrome produced by lesions of the amygdala in monkeys (*Macaca mulatta*)*, in « Journal of Comparative and Physiological Psychology », 95, pp. 961-77.

Per gli studi sui ratti, si veda: LeDoux, J.E. (1992), *Emotion and the amygdala*, in *The Amygdala: Neurobiological*

Aspects of Emotion, Mystery, and Mental Dysfunction, a cura di J.P. Aggleton, pp. 339-51, Wiley-Liss, New York.

16. Morecraft, R.J. e Van Hoesen, G.W. (1993), *Frontal granular cortex input to the cingulate (M3), supplementary (M2), and primary (M1) motor cortices in the rhesus monkey*, in « Journal of Comparative Neurology », 337, pp. 669-89.

17. Damasio, A.R. e Hoesen, G.W. van (1983), *Emotional disturbances associated with focal lesions of the limbic frontal lobe*, in *Neuropsychology of Human Emotion*, a cura di K.M. Heilman e P. Satz, The Guilford Press, New York.

Posner, M.I. e Petersen, S.E. (1990), *The attention system of the human brain*, in « Annual Review of Neuroscience », 13, pp. 25-42.

18. Crick, F. (1994), *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, Charles Scribner's Sons, New York [trad. it. *La scienza e l'anima*, Rizzoli, Milano, 1994].

19. Fulton, J.F. e Jacobsen, C.F. (1935), *The functions of the frontal lobes: A comparative study in monkeys, chimpanzees and man*, in « Advances in Modern Biology » (Moscow), 4, pp. 113-23.

Fulton, J.F. (1951), *Frontal Lobotomy and Affective Behavior*, Norton and Company, New York.

20. Jacobsen, C.F. (1935), *Functions of the frontal association area in primates*, in « Archives of Neurology and Psychiatry », 33, pp. 558-69.

21. Myers, R.E. (1975), *Neurology of social behavior and affect in primates: A study of prefrontal and anterior temporal cortex*, in *Cerebral localization*, a cura di K.J. Zuelch, O. Creutzfeldt e G.C. Galbraith, pp. 161-70, Springer, New York.

Franzen, E.A. e Myers, R.E. (1973), *Neural control of social behavior: Prefrontal and anterior temporal cortex*, in « Neuropsychologia », 11, pp. 141-57.

22. Suomi, S.J. (1987), *Genetic and maternal contributions to individual differences in rhesus monkey biobehavioral development*, in *Perinatal Development: A Psychobiological Perspective*, pp. 397-419, Academic Press, New York.

23. Per una rassegna delle prove neurofisiologiche su questo argomento, si veda: Brothers, L. (1994), *Neurophysiology of social interactions*, in *The Cognitive Neurosciences*, a cura di M. Gazzaniga, The MIT Press, Boston, Mass.

24. Goldman-Rakic, P.S. (1987), *Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory*, in *Handbook of Physiology: The Nervous System*, a cura di F. Plum e V. Mountcastle, vol. 5, pp. 373-417, American Physiological Society, Bethesda, Md.

Fuster, J.M. (1989), *The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe*, 2ª ediz., Raven Press, New York.

25. Raleigh, M.J. e Brammer, G.L. (1993), *Individual differences in serotonin-2 receptors and social behavior in monkeys*, in « Society for Neuroscience Abstracts », 19, p. 592.

CAPITOLO 5

1. Jones, E.G. e Powell, T.P.S. (1970), *An anatomical study of converging sensory pathways within the cerebral cortex of the monkey*, in « Brain », 93, pp. 793-820. Il lavoro dei neuroanatomisti D. Pandya, K. Rockland, G.W. van Hoesen, P. Goldman-Rakic e D. van Essen ha confermato più volte questo principio di connessione e ne ha chiarito i punti complicati.

2. Dennett, D. (1991), *Consciousness Explained*, Little, Brown, Boston, Mass.

3. Damasio, A.R. (1989), *The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones*, in « Neural Computation », 1, pp. 123-32.

Damasio, A.R. (1989), *Time-locked multiregional retroactivation. A systems level proposal for the neural substrates of recall and recognition*, in « Cognition », 33, pp. 25-62.

Damasio, A.R. e Damasio, H. (1993), *Cortical systems underlying knowledge retrieval: Evidence from human lesion studies*, in *Exploring Brain Functions: Models in Neuroscience*, pp. 233-48, John Wiley & Sons, New York.

Damasio, A.R. e Damasio, H. (1994), *Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: The convergence zone framework*, in *Large-Scale Neuronal Theories of the Brain*, a cura di C. Koch e J.L. Davis, The MIT Press/Bradford Books, Cambridge, Mass.

4. Tra gli altri, si vedano:

Malsburg, C. von der (1987), *Synaptic plasticity as basis of brain organization*, in *The Neural and Molecular Bases of*

Learning (Dahlem Workshop Report 38), a cura di J.-P. Changeux e M. Konishi, pp. 411-31, Wiley, Chichester.

Edelman, G. (1987), *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*, Basic Books, New York.

Llinas, R. (1993), *Coherent 40 Hz oscillation characterizes dream state in humans*, in « Proceedings of the National Academy of Sciences », 90, pp. 2078-81.

Crick, F.H. e Koch, C. (1990), *Towards a neurobiological theory of consciousness*, in « Seminars in the Neurosciences », 2, pp. 263-75.

Singer, W., Artola, A., Engel, A.K., Koenig, P., Kreiter, A.K., Lowel, S. e Schillen, T.B. (1993), *Neuronal representations and temporal codes*, in *Exploring Brain Functions: Models in Neuroscience*, a cura di T.A. Poggio e D.A. Glaser, pp. 179-94, Wiley, Chichester.

Eckhorn, R., Bauer, R., Jordan, W., Brosch, M., Kruse, W., Munk, M. e Reitboech, H.J. (1988), *Coherent oscillations: A mechanism for feature linking in the visual cortex*, in « Biologica Cybernetica », 60, pp. 121-30.

Zeki, S. (1993), *A Vision of the Brain*, Blackwell Scientific, London.

Bressler, S., Coppola, R. e Nakamura, R. (1993), *Episodic multiregional cortical coherence at multiple frequencies during visual task performance*, in « Nature », 366, pp. 153-56.

5. Si veda la discussione svolta nel cap. 4 di questo libro, e inoltre: Posner, M.I. e Petersen, S.E. (1990), *The attention system of the human brain*, in « Annual Review of Neuroscience », 13, pp. 25-42; Goldman-Rakic, P.S. (1987), *Circuitry of primate prefrontal cortex...*, cit. alla nota 24, cap. 4; Fuster, J.M. (1989), *The Prefrontal Cortex...*, cit. alla nota 24, cap. 4.

6. Per gli studi di carattere neuroanatomico, neurofisiologico e psicofisico sulla visione, si vedano:

Allman, J., Miezin, F. e McGuinness, E. (1985), *Stimulus specific responses from beyond the classical receptive field: Neuropsychological mechanisms for local-global comparisons in visual neurons*, in « Annual Review of Neuroscience », 8, pp. 407-30.

Singer, W., Gray, C., Engel, A., Koenig, P., Artola, A. e Brocher, S. (1990), *Formation of cortical cell assemblies*, in « Symposia on Quantitative Biology », 55, pp. 939-52.

Tononi, G., Sporns, O. e Edelman, G. (1992), *Reentry*

and the problem of integrating multiple cortical areas: Simulation of dynamic integration in the visual system, in « Cerebral Cortex », 2, pp. 310-35.

Zeki, S. (1992), *The visual image in mind and brain*, in « Scientific American », 267, pp. 68-76 [trad. it. *L'elaborazione dell'immagine visiva*, in « Le Scienze », 291, novembre 1992, p. 36].

Per gli studi sul sistema uditivo e somatosensitivo, si vedano:

Adolphs, R. (1993), *Bilateral inhibition generates neuronal responses tuned to interaural level differences in the auditory brainstem of the barn owl*, in « The Journal of Neuroscience », 13, pp. 3647-68.

Konishi, M., Takahashi, T., Wagner, H., Sullivan, W.E. e Carr, C.E. (1988), *Neurophysiological and anatomical substrates of sound localization in the owl*, in *Auditory function*, a cura di G. Edelman, W. Gall e W. Cowan, pp. 721-46, John Wiley & Sons, New York.

Merzenich, M.M. e Kaas, J.H. (1980), *Principles of organization of sensory-perceptual systems in mammals*, in *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*, a cura di J.M. Sprague e A.N. Epstein, pp. 1-42, Academic Press, New York.

Per gli studi sulla plasticità corticale, si vedano:

Gilbert, C.D., Hirsch, J.A. e Wiesel, T.N. (1990), *Lateral interactions in visual cortex*, in *Symposia on Quantitative Biology*, vol. 55, pp. 663-77, Laboratory Press, Cold Spring Harbor, N.Y.

Merzenich, M.M., Kaas, J.H., Wall, J., Nelson, R.J., Sur, M. e Felleman, D. (1983), *Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3B and 1 in adult monkeys following restructured deafferentation*, in « Neuroscience », 8, pp. 33-55.

Ramachandran, V.S. (1993), *Behavioral and magnetoencephalographic correlates of plasticity in the adult human brain*, in « Proceedings of the National Academy of Sciences », 90, pp. 10413-20.

7. Bartlett, F.C. (1964), *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *La memoria. Studio di psicologia sperimentale e sociale*, Franco Angeli, Milano, 1974].

8. Kosslyn, S.M., Alpert, N.M., Thompson, W.L., Maljk-

ovic, V., Weise, S.B., Chabris, C.F., Hamilton, S.E., Rauch, S.L. e Buonanno, F.S. (1993), *Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations*, in « Journal of Cognitive Neuroscience », 5, pp. 263-87.

Damasio, H., Grabowski, T.J., Damasio, A., Tranel, D., Boles-Ponto, L., Watkins, G.L. e Hichwa, R.D. (1993), *Visual recall with eyes closed and covered activates early visual cortices*, in « Society for Neuroscience Abstracts », 19, p. 1603.

9. Si comincia adesso a comprendere le vie della scarica all'indietro. Al riguardo si vedano:

Hoesen, G.W. van (1982), *The parahippocampal gyrus: New observations regarding its cortical connections in the monkey*, in « Trends in Neurosciences », 5, pp. 345-50.

Livingstone, M.S. e Hubel, D.H. (1984), *Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex*, in « The Journal of Neuroscience », 4, pp. 309-56.

Hubel, D.H. e Livingstone, M.S. (1987), *Segregation of form, color, and stereopsis in primate area 18*, in « The Journal of Neuroscience », 7, pp. 3378-3415.

Livingstone, M.S. e Hubel, D.H. (1987), *Connections between layer 4B of area 17 and thick cytochrome oxidase stripes of area 18 in the squirrel monkey*, in « The Journal of Neuroscience », 7, pp. 3371-77.

Rockland, K.S. e Virga, A. (1989), *Terminal arbors of individual « feedback » axons projecting from area V2 to V1 in the macaque monkey: A study using immunohistochemistry of anterogradely transported* Phaseolus vulgaris *leucoagglutinin*, in « Journal of Comparative Neurology », 285, pp. 54-72.

Felleman, D.J. e Essen, D.C. van (1991), *Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex*, in « Cerebral Cortex », 1, pp. 1-47.

10. Tootell, R.B.H., Switkes, E., Silverman, M.S. e Hamilton, S.L. (1988), *Functional anatomy of macaque striate cortex. II. Retinotopic organization*, in « The Journal of Neuroscience », 8, pp. 1531-68.

11. Merzenich, M.M. *et al.*, cfr. nota 6 sopra.

12. Non è possibile qui rendere giustizia alla letteratura scientifica sull'apprendimento e la plasticità; si rimanda il lettore a vari capitoli dei due libri seguenti:

Kandel, E., Schwartz, J. e Jessell, T. (1991), *Principles of Neuroscience*, cit. alla nota 4, cap. 2.

Churchland, P.S. e Sejnowski, T.J. (1992), *The Computational Brain...*, cit. alla nota 4, cap. 2.

13. Il riconoscimento del valore delle immagini è uno sviluppo recente, frutto della rivoluzione cognitiva che ha fatto seguito alla lunga notte del comportamentismo basato sul meccanismo stimolo-risposta. Il merito va, in larga misura, al lavoro di Roger Shepard e di Stephen Kosslyn. Si vedano:

Shepard, R.N. e Cooper, L.A. (1982), *Mental Images and Their Transformations*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Kosslyn, S.M. (1980), *Image and Mind*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Per una rassegna storica, si veda: Gardner, H. (1985), *The Mind's New Science*, Basic Books, New York [trad. it. *La nuova scienza della mente*, Feltrinelli, Milano, 1989³].

14. Mandelbrot, B., comunicazione personale.

15. Einstein, A., citato in Hadamard, J. (1945), *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton University Press, Princeton, NJ [trad. it. *La psicologia dell'invenzione nel campo matematico*, Raffaello Cortina, Milano, 1993].

16. Riferimenti essenziali sull'argomento sono:

Hubel, D.H. e Wiesel, T.N. (1965), *Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint*, in « Journal of Neurophysiology », 28, pp. 1041-59.

Hubel, D.H., Wiesel, T.N. e LeVay, S. (1977), *Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex*, in « Philosophical Transactions of the Royal Society », London, serie B, 278, pp. 377-409.

Katz, L.C. e Constantine-Paton, M. (1988), *Relationship between segregated afferents and post-synaptic neurons in the optic tectum of three-eyed frogs*, in « The Journal of Neuroscience », 8, pp. 3160-80.

Edelman, G. (1988), *Topobiology*, Basic Books, New York [trad. it. *Topobiologia*, Bollati Boringhieri, Torino, 1993].

Constantine-Paton, M., Cline, H.T. e Debski, E. (1990), *Patterned activity, synaptic convergence and the* NMDA *receptor in developing visual pathways*, in « Annual Review of Neuroscience », 13, pp. 129-54.

Shatz, C.J. (1992), *The developing brain*, in « Scientific

American », 267, pp. 61-67 [trad. it. *Lo sviluppo del cervello*, in « Le Scienze », 291, novembre 1992].

17. Per un opportuno inquadramento di questo tema, si vedano:

Lewontin, R.C. (1992), *Biology as Ideology*, Harper Perennial, New York [trad. it. *Biologia come ideologia*, Bollati Boringhieri, Torino, 1993].

Kauffman, Stuart A. (1993), *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York.

18. Il substrato dei bruschi e vistosi cambiamenti che sembrano verificarsi nella conformazione circuitale comprende la richezza di sinapsi a cui ho accennato in precedenza, oltre alla varietà di neurotrasmettitori e recettori disponibili in ogni sinapsi. Esula dalla portata di questo libro precisare questo processo plastico, ma la descrizione qui fornita è compatibile con l'idea che essa avvenga, in larga misura, per selezione di circuiti a livello sinaptico. Niels Jerne e John Z. Young sono stati i primi a suggerire di applicare il concetto di selezione al sistema nervoso; in seguito vi ha fatto ricorso Jean-Pierre Changeux, e Gerald Edelman se ne è fatto sostenitore, costruendo attorno a tale concetto una teoria complessiva della mente e del cervello.

CAPITOLO 6

1. Pert, C.B., Ruff, M.R., Weber, R.J. e Herkenham, M. (1985), *Neuropeptides and their receptors: A psychosomatic network*, in « The Journal of Immunology », 135, pp. 820s-26s.

Bloom, F. (1985), *Neuropeptides and other mediators in the central nervous system*, in « The Journal of Immunology », 135, pp. 743s-45s.

Roth, J., LeRoith, D., Collier, E.S., Weaver, N.R., Watkinson, A., Cleland, C.F. e Glick, S.M. (1985), *Evolutionary origins of neuropeptides, hormones, and receptors: Possible applications to immunology*, in « The Journal of Immunology », 135, pp. 816s-19s.

McEwen, B.S. (1991), *Non-genomic and genomic effects of steroids on neural activity*, in « Trends in Pharmacological Sciences », aprile, 12 (4), pp. 141-47.

Herzog, A. (1984), *Temporal lobe epilepsy: An extrahypothalamic pathogenesis for polycystic ovarian syndrome?*, in « Neurology », 34, pp. 1389-93.

2. Hosoi, J., Murphy, G.F. e Egan, C.L. (1993), *Regulation of Langerhans cell function by nerves containing calcitonin gene-related peptide*, in « Nature », 363, pp. 159-63.

3. Calabrese, J.R., Kling, M.A. e Gold, P. (1987), *Alterations in immunocompetence during stress, bereavement and depression: Focus on neuroendocrine regulation*, in « American Journal of Psychiatry », 144, pp. 1123-34.

4. Marder, E. (a cura di; 1989), *Neuromodulation in circuits underlying behavior*, in « Seminars in the Neurosciences », 1, pp. 3-4.

Saper, C.B. (1987), *Diffuse cortical projection systems: anatomical organization and role in cortical function*, in *Handbook of Physiology*, a cura di V.B. Mountcastle, pp. 169-210, American Physiological Society, Bethesda, Md.

5. Carter, C.S. (1992), *Oxytocin and sexual behavior*, in « Neuroscience Biobehavioral Review », 16, p. 131.

Insel, T.R. (1992), *Oxytocin, a neuropeptide for affiliation: Evidence from behavioral, receptor autoradiographic, and comparative studies*, in « Psychoneuroendocrinology », 17, p. 3.

6. Descartes, R. (1647), *Les passions de l'âme* [trad. it. *Le passioni dell'anima*, in *Opere filosofiche*, vol. 4, Laterza, Roma-Bari, 1986].

7. Freud, S. (1930), *Civilization and Its Discontents*, trad. ingl., The University of Chicago Press, Chicago, Ill. [ediz. orig. *Das Unbehagen in der Kultur*, Internationaler Psychoanalytischer Verlag, Wien; trad. it. *Il disagio della civiltà*, in *Opere*, vol. 10, Boringhieri, Torino, 1978].

CAPITOLO 7

1. Allman, J.M., McLaughlin, T. e Hakeem, A. (1993), *Brain weight and life-span in primate species*, in « Proceedings of the National Academy of Sciences », 90, pp. 118-22.

2. Allman, J.M., McLaughlin, T. e Hakeem, A. (1993), *Brain structures and life-span in primate species*, in « Proceedings of the National Academy of Sciences », 90, pp. 3559-63.

3. James, W. (1890), *The Principles of Psychology*, vol. 2, Dover, New York, 1950 [trad. it. parziale *Principi di psicologia*, Società Editrice Libraria, Milano, 1909³].

4. Come introduzione alla estesa letteratura di studiosi dell'argomento, segnalo le seguenti opere:

Ekman, P. (1992), *Facial expressions of emotion: New findings, new questions*, in « Psychological Science », 3, pp. 34-38.

Lazarus, R.S. (1984), *On the primacy of cognition*, in « American Psychologist », 39, pp. 124-29.

Mandler, G. (1984), *Mind and Body: Psychology of Emotion and Stress*, W.W. Norton & Co., New York.

Zajonc, R.B. (1984), *On the primacy of affect*, in « American Psychologist », 39, pp. 117-23.

5. Bagshaw, M.H., Kimble, D.P. e Pribram, K.H. (1965), *The GSR of monkeys during orienting and habituation and after ablation of the amygdala, hippocampus and inferotemporal cortex*, in « Neuropsychologia », 3, pp. 111-19.

Weiskrantz, L. (1956), *Behavioral changes associated with ablations of the amygdaloid complex in monkeys*, in « Journal of Comparative and Physiological Psychology », 49, pp. 381-91.

Aggleton, J.P. e Passingham, R.E. (1981), *Syndrome produced by lesions of the amygdala in monkeys (*Macaca mulatta*)*, cit. alla nota 15, cap. 4.

LeDoux, J.E. (1992), *Emotion and the amygdala*, cit. alla nota 15, cap. 4.

6. Davis, M. (1992), *The role of the amygdala in conditioned fear*, in *The Amygdala...*, a cura di J.P. Aggleton, pp. 255-305, cit. alla nota 15, cap. 4.

Zola-Morgan, S., Squire, L.R., Alvarez-Royo, P. e Clower, R.P. (1991), *Independence of memory functions and emotional behavior: Separate contributions of the hippocampal formation and the amygdala*, in « Hippocampus », 1, pp. 207-20.

7. Gloor, P., Olivier, A. e Quesney, L.F. (1981), *The role of the amygdala in the expression of psychic phenomena in temporal lobe seizures*, in *The Amygdaloid Complex*, a cura di Y. Ben-Air (INSERM Symposium 20), pp. 489-98, Elsevier/North-Holland, Amsterdam.

Penfield, W. e Jasper, W. (1954), *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*, Little, Brown, Boston, Mass.

8. Kluver, H. e Bucy, P.C. (1937), *« Psychic blindness » and other symptoms following bilateral temporal lobe lobectomy in rhesus monkeys*, in « American Journal of Physiology », 119, pp. 352-53.

9. Laplane, D., Degos, J.D., Baulac, M. e Gray, F. (1981), *Bilateral infarction of the anterior cingulate gyri and of the fornices*, in « Journal of the Neurological Sciences », 51, pp. 289-300.

Damasio, A.R. e Hoesen, G.W. van (1983), *Emotional disturbances associated with focal lesions of the limbic frontal lobe*, in *Neuropsychology of Human Emotion*, cit. alla nota 17, cap. 4.

10. Sperry, R.W., Gazzaniga, M.S. e Bogen, J.E. (1969), *Interhemispheric relationships: The neocortical commissures; syndromes of their disconnection*, in *Handbook of Clinical Neurology*, a cura di P.J. Vinken e G.W. Bruyn, vol. 4, pp. 273-90, North-Holland, Amsterdam.

Sperry, R.W., Zaidel, E. e Zaidel, D. (1979), *Self recognition and social awareness in the deconnected minor hemisphere*, in « Neuropsychologia », 17, pp. 153-66.

11. Gainotti, G. (1972), *Emotional behavior and hemispheric side of the lesion*, in « Cortex », 8, pp. 41-55.

Gardner, H., Brownell, H.H., Wapner, W. e Michelow, D. (1983), *Missing the point: The role of the right hemisphere in the processing of complex linguistic materials*, in *Cognitive Processes and the Right Hemisphere*, a cura di E. Pericman, Academic Press, New York.

Heilman, K., Watson, R.T. e Bowers, D. (1983), *Affective disorders associated with hemispheric disease*, in *Neuropsychology of Human Emotion*, pp. 45-64, cit. alla nota 17, cap. 4.

Borod, J.C. (1992), *Interhemispheric and intrahemispheric control of emotion: A focus on unilateral brain damage*, in « Journal of Consulting and Clinical Psychology », 60, pp. 339-48.

Davidson, R. (1992), *Prolegomenon to emotion: Gleanings from Neuropsychology*, in « Cognition and Emotion », 6, pp. 245-68.

12. Darwin, C. (1872), *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, Murray, London [trad. it. *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli animali*, a cura di G.A. Ferrari, Boringhieri, Torino, 1982].

13. Duchenne, G.-B. (1862), *The Mechanism of Human Facial Expression, or An Electro-Physiological Analysis of the Expression of the Emotions*, trad. ingl., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

14. Ekman, P. (1992), *Facial expressions...*, cit. alla nota 4.

Ekman, P. e Davidson, R.J. (1993), *Voluntary smiling changes regional brain activity*, in « Psychological Science », 4, pp. 342-45.

Ekman, P., Levenson, R.W. e Friesen, W.V. (1983), *Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions*, in « Science », 221, pp. 1208-10.

15. Ekman, P. e Davidson, R.J. (1993), *Voluntary smiling...*, cit. alla nota 14.

16. Mentre per quelle che io ho chiamato emozioni primarie sembra esservi una forte radice biologica, il modo in cui concettualizziamo le emozioni secondarie è relativo a particolari culture. Per le testimonianze sul contributo della cultura alla categorizzazione delle emozioni, si veda: Russell, J.A. (1991), *Culture and the Categorization of Emotions*, in « Psychological Bulletin », 110, pp. 426-50.

17. Sacks, O. (1987), *The Man Who Mistook His Wife for a Hat, and Other Clinical Tales*, p. 43, Harper & Row, New York [trad. it. *L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello*, p. 69, Adelphi, Milano, 1994[11]].

18. Ancora ci si può rifare a William Styron per una penetrante illustrazione di queste numerose linee di funzionamento. Qualche indicazione a conferma del quadro che sto qui tratteggiando si può anche ricavare dagli studi dello stile concettuale degli scrittori. Si veda: Andreasen, N.J. e Powers, P.S. (1974), *Creativity and psychosis: An examination of conceptual style*, in « Archives of General Psychiatry », 32, pp. 70-73.

CAPITOLO 8

1. Pascal, B. (1670), *Pensées*. Qui mi sono servito della « nuova edizione » pubblicata da Mercure de France, Paris, 1976. Il passaggio citato compare alla sezione 80 [trad. it. *Pensieri*, sez. 80, p. 109, Rusconi, Milano, 1993]: « Que chacun examine ses pensées, il les trouvera toutes occupées au passé ou à l'avenir. Nous ne pensons pres-

que point au présent, et si nous y pensons, ce n'est que pour en prendre la lumière pour disposer de l'avenir».

2. Johnson-Laird, P.N. e Shafir, E. (1993), *The interaction between reasoning and decision-making: an introduction*, in «Cognition», 49, p. 109.

3. Gardner, H. (1983), *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, Basic Books, New York [trad. it. *Formae Mentis. Saggio sulla pluralità della intelligenza*, Feltrinelli, Milano, 1991⁴].

4. Tversky, A. e Kahneman, D. (1973), *Availability: A heuristic for judging frequency and probability*, in «Cognitive Psychology», 2, pp. 207-32.

5. Sutherland, S. (1992), *Irrationality: The Enemy Within*, Constable, London.

6. Cosmides, L. (1989), *The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task*, in «Cognition», 33, pp. 187-276.

Barkow, J.H., Cosmides, L. e Tooby, J. (a cura di; 1992), *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, New York.

Brothers, L. (1994), cit. alla nota 23, cap. 4, e Suomi, S.J. (1987), cit. alla nota 22, cap. 4.

7. Sull'anatomia frontale, si veda Sanides, F. (1964), *The cytomyeloarchitecture of the human frontal lobe and its relation to phylogenetic differentiation of the cerebral cortex*, in «Journal für Hirnforschung», 6, pp. 269-82.

Goldman-Rakic, P. (1987), *Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory*, in *Handbook of Physiology...*, vol. 5, pp. 373-401, cit. alla nota 24, cap. 4.

Pandya, D. e Yeterian, E.H. (1990), *Prefrontal cortex in relation to other cortical areas in rhesus monkey: architecture and connections*, in *The Prefrontal Cortex: Its Structure, Function and Pathology*, a cura di H.B.M. Uylings, pp. 63-94, Elsevier, Amsterdam.

Barbas, H. e Pandya, D.N. (1989), *Architecture and intrinsic connections of the prefrontal cortex in the rhesus monkey*, in «The Journal of Comparative Neurology», 286, pp. 353-75.

8. Petrides, M. e Milner, B. (1982), *Deficits on subject-ordered tasks after frontal and temporal lobe lesions in man*, in «Neuropsychologia», 20, pp. 249-62.

Fuster, J.M. (1989), *The Prefrontal Cortex...*, cit. alla nota 5, cap. 5.

Goldman-Rakic, P. (1992), *Working memory and the mind*, in « Scientific American », 267, pp. 110-17 [trad. it. *La memoria di lavoro*, in « Le Scienze », 291, novembre 1992].

9. Morecraft, R.J. e Hoesen, G.W. van (1993), *Frontal granular cortex...*, cit. alla nota 16, cap. 4.

10. Real, L.A. (1991), *Animal choice behavior and the evolution of cognitive architecture*, in « Science », 253, pp. 980-86.

11. Montague, P.R., Dayan, P. e Sejnowski, T.J. (1993), *Foraging in an uncertain world using predictive Hebbian learning*, in « Society for Neuroscience », 19, p. 1609.

12. Poincaré, H. (1908), *Le raisonnement mathématique*, in *Science et méthode*, Flammarion, Paris.

13. Szilard, L. (1992), in W. Lanouette, *Genius in the Shadows*, Charles Scribner's Sons, New York.

14. Salk, J. (1985), *The Anatomy of Reality*, Praeger, New York.

15. Shallice, T. e Burgess, P.W. (1993), *Supervisory control of action and thought selection*, in *Attention: Selection, Awareness, and Control: A Tribute to Donald Broadbent*, a cura di A. Baddeley e L. Weiskrantz, pp. 171-87, Clarendon Press, Oxford.

16. Cfr. sopra, nota 4.

17. Cfr. sopra, nota 5.

18. Harrer, G. e Harrer, H. (1977), *Music, emotion and autonomic function*, in *Music and the Brain*, a cura di M. Critchley e R.A. Henson, pp. 202-15, William Heinemann Medical, London.

19. Dehaene, S. e Changeux, J.-P. (1991), *The Wisconsin Card Sorting Test: Theoretical analysis and modeling in a neuronal network*, in « Cerebral Cortex », 1, pp. 62-79.

20. Si veda: Posner e Petersen (1990), cit. alla nota 17, cap. 4.

21. Si veda: Goldman-Rakic, P. (1992), cit. alla nota 7.

22. Lashley, K.S. (1951), *The problem of serial order in behavior*, in *Cerebral Mechanisms in Behavior*, a cura di L.A. Jeffress, John Wiley & Sons, New York.

23. Salzman, C.D. e Newsome, W.T. (1994), *Neural*

mechanisms for forming a perceptual decision, in « Science », 264, pp. 231-37.

24. Pascal, B., *Pensées*, cit., sezione 680: « Le cœur a ses raisons, que la raison ne connait point » [trad. it. cit., p. 263].

25. Evans, J.St.B.T., Over, D.E. e Manktelow, K.I. (1993), *Reasoning, decision-making and rationality*, in « Cognition », 49, pp. 165-87.

De Sousa, R. (1991), *The Rationality of Emotion*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Johnson-Laird, P.N. e Oatley, K. (1992), *Basic emotions, rationality, and folk theory*, in « Cognition and Emotion », 6, pp. 201-23.

CAPITOLO 9

1. Damasio, A.R., Tranel, D. e Damasio, H. (1991), *Somatic markers and the guidance of behavior: Theory and preliminary testing*, in *Frontal Lobe Function and Dysfunction*, a cura di H.S. Levin, H.M. Eisenberg e A.L. Benton, pp. 217-29, Oxford University Press, New York.

È interessante osservare che, in esperimenti molto simili, individui ai quali era stata diagnosticata una psicopatia e individui che avevano commesso crimini si comportarono in modo del tutto analogo. Si veda:

Hare, R.D. e Quinn, M.J. (1971), *Psychopathy and autonomic conditioning*, in « Journal of Abnormal Psychology », 77, pp. 223-35.

2. Bechara, A., Damasio, A.R., Damasio, H. e Anderson, S. (1994), *Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex*, in « Cognition », 50, pp. 7-12.

3. Steele, C.M. e Josephs, R.A. (1990), *Alcohol myopia*, in « American Psychologist », 45, pp. 921-33.

4. Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H. e Damasio, A.R., *Failure to respond autonomically in anticipation of future outcomes following damage to human prefrontal cortex*, di prossima pubblicazione (1996) in « Cerebral Cortex ».

1. Lakoff, G. (1987), *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*, The University of Chicago Press, Chicago, Ill.

Johnson, M. (1987), *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*, The University of Chicago Press, Chicago, Ill.

2. Hohmann, G.W. (1966), *Some effects of spinal cord lesions on experienced emotional feelings*, in « Psychophysiology », 3, pp. 143-56.

3. Putnam, H. (1981), *Reason, Truth, and History*, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *Ragione, verità e storia*, Il Saggiatore, Milano, 1985].

4. Per una rassegna sugli aspetti viscerali della rappresentazione somatosensoriale, si veda: Mesulam, M.M. e Mufson, E.J. (1985), *The insula of Reil in man and monkey*, in *Cerebral Cortex*, a cura di A. Peters e E.G. Jones, vol. 5, pp. 179-226. Plenum Press. New York.

Si veda anche: Jennings, J.R. (1992), *Is it important that the mind is in the body? Inhibition and the heart*, in « Psychophysiology », 29, pp. 369-83, e inoltre: Oppenheimer, S.M., Gelb, A., Girvin, J.P. e Hachinski, V.C. (1992), *Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation*, in « Neurology », 42, pp. 1727-32.

5. Humphrey, N. (1992), *A History of the Mind*, Simon & Schuster, New York.

6. Si veda sopra, la nota 1, e inoltre le opere seguenti:

Varela, F., Thompson, E. e Rosch, E. (1992), *The Embodied Mind*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Edelman, G. (1992), *Bright Air, Brilliant Fire*, Basic Books, New York [trad. it. *Sulla materia della mente*, Adelphi, Milano, 1993].

7. Scarlc, J. (1992), *The Rediscovery of the Mind*, The MIT Press, Cambridge, Mass. [trad. it. *La riscoperta della mente*, Bollati Boringhieri, Torino, 1993].

Churchland, P.S. (1986), *Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind-Brain*, The MIT Press/Bradford Books, Cambridge, Mass.

Churchland, P.M. (1984), *Matter and Consciousness*, The MIT Press/Bradford Books, Cambridge, Mass.

Crick, F. (1994), *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, cit. alla nota 18, cap. 4.

Dennett, D. (1991), *Consciousness Explained*, cit. alla nota 2, cap. 5.

Edelman, G. (1992), *Bright Air...*, cit. sopra, nota 6.

Llinás, R. (1991), *Commentary of Dreaming and wakefulness*, in « Neuroscience », 44, pp. 521-35.

8. Plum, F. e Posner, J. (1980), *The Diagnosis of Stupor and Coma*, Contemporary Neurology Series, 3ª ediz., F.A. Davis, Philadelphia, Penn.

9. Kagan, J. (1989), *Unstable Ideas: Temperament, Cognition, and Self*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

CAPITOLO 11

1. Stent, G.S. (1969), *The Coming of the Golden Age: A View of the End of Progress*, Doubleday, New York.

2. Una variegata descrizione di questi aspetti si può trovare in Hughes, R. (1992), *The Culture of Complaint*, Oxford University Press, New York [trad. it. *La cultura del piagnisteo*, Adelphi, Milano, 1994].

3. Descartes, R. (1637), *Discours de la méthode*, trad. ingl. in *The Philosophical Works*, vol. 1, p. 101, Cambridge University Press, New York, 1970 [trad. it. *Discorso sul metodo*, a cura di E. Gilson, p. 84, La Nuova Italia, Firenze, 1956[12]].

4. Descartes, R., cit. sopra.

5. Cottingham, R. (1992), *A Descartes Dictionary*, p. 36, Blackwell, Oxford.

6. Cfr. sopra, nota 3.

POSTSCRIPTUM

1. Faulkner, W. (1949), discorso di accettazione del premio Nobel. Il contesto in cui si inscrivono le parole di Faulkner era la minaccia nucleare montante, ma il suo messaggio non ha tempo.

2. Éluard, P. (1961), *Liberté*, in *Anthologie de la poésie française*, a cura di G. Pompidou, Hachette, Paris [trad. it. *Li-*

bertà in *Poesie*, a cura di F. Fortini, Einaudi, Torino, 1955].

3. Gli scritti di Jonas Salk e di Richard Lewontin (citati in precedenza) che queste parole evocano contengono l'ottimismo e la risolutezza che sono indispensabili per una biologia umana complessiva.

4. Si veda la nota 2, cap. 11.

5. Anche David Ingvar ha usato il termine « ricordi del futuro », esattamente con il medesimo significato.

6. Fields, H. (1987), *Pain*, McGraw-Hill, New York [trad. it. *Il dolore*, McGraw-Hill Libri Italia, Milano, 1988].

Davis, B., *Behavioral aspects of complex analgesia* (di prossima pubblicazione).

7. Dai tempi di Almeida Lima sono state sviluppate nuove tecniche chirurgiche, meno mutilanti, per affrontare il dolore. Anche se la leucotomia prefrontale non era dannosa come altre tecniche cosiddette psicochirurgiche, e anche se raggiungeva il risultato positivo di alleviare le sofferenze non curabili, pure essa comportava un esito negativo: quello di ottundere emozione e sentimento, con conseguenze, a lunga scadenza, che solo ora si comincia a valutare appieno.

ALTRE LETTURE

Quello che segue è un breve elenco di libri che riguardano gli argomenti da me trattati, e certo non ha la pretesa di essere esauriente. I titoli sono suddivisi per area di interesse, ma dovrebbe essere chiaro che molti di essi rientrano in più di una suddivisione. [Per le opere che già sono state citate in « Note e fonti bibliografiche » è indicato il rimando].

FONTI CLASSICHE

Darwin, C. (1872), *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, cit. alla nota 12, cap. 7.

Geschwind, N. (1974), *Selected Papers on Language and Brain*, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. XVI, Reidel, Dordrecht.

Hebb, D.O. (1949), *The Organization of Behavior*, Wiley, New York [trad. it. *L'organizzazione del comportamento: una teoria neuropsicologica*, Franco Angeli, Milano, 1975].

James, W. (1890), *The Principles of Psychology*, cit. alla nota 3, cap. 7.

OPERE TECNICHE RECENTI

Churchland, P.S. e Sejnowski, T.J. (1992), *The Computational Brain...*, cit. alla nota 12, cap. 5.

Damasio, H. e Damasio, A.R. (1989), *Lesion Analysis in Neuropsychology*, cit. alla nota 2, cap. 4.

Damasio, H. (1994), *Human Brain Anatomy...*, cit. alla nota 2, cap. 2.

Kandel, E.R., Schwartz, J.H. e Jessell, T.M. (a cura di; 1991[3]), *Principles of Neural Science*, Appleton and Lange, Norwalk, Ct.

EMOZIONE

De Sousa, R. (1991), *The Rationality of Emotion*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Izard, C.E., Kagan, J. e Zajonc, R.B. (1984), *Emotion, Cognition and Behavior*, Cambridge University Press, New York.

Kagan, J. (1989), *Unstable Ideas: Temperament, Cognition, and Self*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Mandler, G. (1984), *Mind and Body...*, cit. alla nota 4, cap. 7.

PENSIERO E RAGIONAMENTO

Fuster, J.M. (1989), *The Prefrontal Cortex...*, cit. alla nota 24, cap. 4.

Gardner, H. (1983), *Frames of Mind...*, cit. alla nota 3, cap. 8.

Johnson-Laird, P.N. (1983), *Mental Models*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. [trad. it. *Modelli mentali*, Il Mulino, Bologna, 1988].

Pribram, K.H. e Luria, A.R. (a cura di; 1973), *Psychophysiology of the Frontal Lobe*, Academic Press, New York.

Sutherland, S. (1992), *Irrationality: The Enemy Within*, cit. alla nota 5, cap. 8.

DALLA FILOSOFIA DELLA MENTE ALLE NEUROSCIENZE COGNITIVE

Churchland, P.S. (1986), *Neurophilosophy...*, cit. alla nota 7, cap. 10.

Churchland, P.M. (1984), *Matter and Consciousness*, cit. alla nota 7, cap. 10.

Churchland, P.M. (1994), *The Engine of Reason, The Seat of the Soul: A Philosophical Journey into the Brain*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Dennett, D.C. (1991), *Consciousness Explained*, cit. alla nota 2, cap. 5.

Dudai, Y. (1989), *The Neurobiology of Memory: Concepts, Findings, Trends*, Oxford University Press, Oxford.

Flanagan, O. (1992), *Consciousness Reconsidered*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Gazzaniga, M.S. e LeDoux, J.E. (1978), *The Integrated Mind*, Plenum Press, New York.

Hinde, R.A. (1990), *The Interdependence of the Behavioral Sciences*, in « Phil. Trans. of the Royal Society », London, 329, pp. 217-27.

Hubel, D.H. (1987), *Eye, Brain, and Vision*, Scientific American Library, W.H. Freeman, New York [trad. it. *Occhio, cervello e visione*, Zanichelli, Bologna, 1989].

Humphrey, N. (1992), *A History of the Mind: Evolution and the Birth of Consciousness*, Simon & Schuster, Norwalk, Conn.

Johnson, M. (1987), *The Body in the Mind...*, cit. alla nota 1, cap. 10.

Kosslyn, S.M. e Koenig, P. (1992), *Wet Mind: The New Cognitive Neuroscience*, The Free Press, New York.

Lakoff, G. (1987), *Women, Fire and Dangerous Things...*, cit. alla nota 1, cap. 10.

Magnusson, D. (1988), *Individual Development in an Interactional Perspective: A Longitudinal Study*, Erlbaum, Hillsdale, NJ.

Miller, J. (1983), *States of Mind*, Pantheon Books, New York.

Ornstein, R. (1973), *The Nature of Human Consciousness*, W.H. Freeman, San Francisco, Cal.

Rose, S. (1973), *The Conscious Brain*, Knopf, New York [trad. it. *Il cervello e la coscienza*, Mondadori EST, Milano, 1973].

Rutter, M. e Rutter, M. (1993), *Developing Minds: Challenge and Continuity Across the Lifespan*, Basic Books, New York.

Searle, J.R. (1992), *The Rediscovery of the Mind*, cit. alla nota 7, cap. 10.

Squire, L.R. (1987), *Memory and Brain*, Oxford University Press, New York.

Zeki, S. (1993), *A Vision of the Brain*, cit. alla nota 4, cap. 5.

BIOLOGIA GENERALE

Barkow, J.H., Cosmides, L. e Tooby, J. (a cura di; 1992), *The Adapted Mind...*, cit. alla nota 6, cap. 8.

Bateson, P. (1991), *The Development and Integration of Behavior: Essays in Honour of Robert Hinde*, Cambridge University Press, New York.

Edelman, G. (1988), *Topobiology*, cit. alla nota 16, cap. 5.

Finch, C.E. (1990), *Longevity, Senescence, and the Genome*, The University of Chicago Press, Chicago, Ill.

Gould, S.J. (1990), *The Individual in Darwin's World*, Edinburgh University Press, Edinburgh.

Jacob, F. (1982), *The Possible and the Actual*, trad. ingl., Pantheon Books, New York [trad. it. *Il gioco dei possibili*, Mondadori, Milano, 1983].

Kauffman, S.A. (1993), *The Origins of Order...*, cit. alla nota 17, cap. 5.

Lewontin, R.C. (1991), *Biology as Ideology*, cit. alla nota 17, cap. 5.

Medawar, P.B. e Medawar, J.S. (1983), *Aristotle to Zoos: A Philosophical Dictionary of Biology*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. [trad. it. *Da Aristotele a zoo*, Mondadori, Milano, 1986].

Purves, D. (1988), *Body and Brain: A Trophic Theory of Neural Connections*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Salk, J. (1973), *Survival of the Wisest*, Harper Row, New York.

Salk, J. (1985), *The Anatomy of Reality*, cit. alla nota 14, cap. 8.

Stent, G.S. (a cura di; 1978), *Morality as a Biological Phenomenon*, University of California Press, Berkeley, Cal.

NEUROBIOLOGIA TEORICA

Changeux, J.-P. (1985), *Neuronal Man*, trad. ingl., Pantheon, New York [ediz. orig. *L'homme neuronal*, Fayard, Paris; trad. it. *L'uomo neuronale*, Feltrinelli, Milano, 1990³].

Crick, F. (1994), *The Astonishing Hypothesis*, cit. alla nota 18, cap. 4.

Edelman, G.M. (1992), *Bright Air, Brilliant Fire*, cit. alla nota 6, cap. 10.

Koch, C. e Davis, J.L. (a cura di; 1994), *Large-Scale Neuronal Theories of the Brain*, cit. alla nota 3, cap. 5.

OPERE DI INTERESSE GENERALE

Blakemore, C. (1988), *The Mind Machine*, BBC Books, New York.

Johnson, G. (1991), *In the Palaces of Memory*, Knopf, New York.

Ornstein, R. e Ehrlich, P. (1989), *New World New Mind: Moving Toward Conscious Evolution*, Simon & Schuster, Norwalk, Conn.

Restak, R.M. (1988), *The Mind*, Bantam Books, New York.

« Scientific American », 267, settembre 1992, numero speciale su *Mind and Brain* [trad. it. « Le Scienze », 291, novembre 1992, numero speciale su *Mente e cervello*].

INDICE ANALITICO

acetilcolina, 179
Ackerly, S.S., 101, 367
Ackerly e Benton, paziente di, 101-103
acromatopsia, 153, 156
Adams, Joseph, 33, 34, 48
Adolphs, Ralph, 117, 368, 372
afasia, 53-54
Aggleton, J.P., 117, 195, 368, 377
Agostino, sant', 338
Allman, John, 188, 371, 376
Alpert, N.M., 372
altruismo, 248-50
Alvarez-Royo, P., 377
ambiente e organismo, 142-44
amigdala
– ed emozioni primarie, 195-96
– lesioni alla, 116-17
Anderson, Steven, 13, 110, 291, 368, 382
Andreasen, N., 379
animali, prove da studi su, 123-25
Anna Karenina, 360
anosognosia, 107-11
– sé e, 322-23
– sentimenti e, 220-22
Aristotele, 340
Armstrong, S., 368
Artola, A., 371
assoni, 64
attenzione, e marcatori somatici, 273-76

Babinski, J., 108, 367
Baddeley, A., 381
Bagshaw, M.H., 377
Barbas, H., 380
Barkow, Jerome H., 380, 390
Bartlett, Frederic, 155, 372
Bateson, P., 390
Bauer, R.M., 368, 371
Baulac, M., 378
Bechara Antoine, 291, 297, 301, 382
Beethoven, L. van, 273
Benson, F.T., 367
Benton, A.L., 13, 101, 366, 367, 382
Bernard, Claude, 176
Bigelow, Henry, 35, 364
Blakemore, C., 391

Bloom, F., 375
Bogen, G.M., 368
Bogen, Joseph, 202, 368, 378
Boles-Ponto, L., 373
Borod, Joan, 202, 378
Bowers, D., 368, 378
Brainvox, 57
Brammer, G.L., 370
Bressler, S., 371
Brickner, R.M., 98, 367
Broca, Paul, 53-55, 365
Brocher, S., 371
Brodmann, mappa di, 62
Brosch, M., 371
Brothers, L., 369, 380
Brownell, H.H., 378
Bucy, Paul, 195, 378
Buonanno, F.S., 373
Burgess, P.W., 381

Čajkovskij, P.I., 215
Calabrese, J.R., 376
Carr, C.E., 372
Carter, C.S., 376
Cartesio (René Descartes), 27, 52, 182-83, 238, 242, 336-41, 376, 384
cervello
– connessione di corpo e, 138-40
– «in una vasca», 310-11
– relazione di organismo e corpo con il, 138
– sito di integrazione unico nel, 147-49
CGRP, *si veda* peptide, CGRP
Chabris, C.F., 373
Changeux, Jean-Pierre, 274, 375, 381, 391
Chomsky, Noam, 364
Churchland, Patricia S., 321, 365, 374, 383, 387, 389
Churchland, Paul M., 321, 383, 389
cingolato anteriore, 119-22
circuiti innati, sviluppo, 165-70
Cleland, C.F., 375
Cline, H.T., 374
Clower, R.P., 377
Collier, E.S., 375
comportamento, relazione tra mente e, 140-42
comportamento del collezionista, 38, 75
conduttanza cutanea, risposta della
– descrizione, 285-91
– e previsione del futuro, 301-303
conoscenza contenuta nelle rappresentazioni disposizionali, 160-62
Constantine-Paton, M., 374
Coon, dottor, 56
Cooper, L.A., 374
Coppola, R., 371
corpo
– come riferimento di base, 319-20
– connessione di cervello e, 138-40
– connessione di mente e, 305-308
– emozioni e, 222-27
– in senso stretto, 137-38
– relazione di organismo e cervello con il, 138
– secondo Cartesio, 336-41
– stati del c. e sentimenti, 213-15
– stati del c. e sentimenti di fondo, 216-22
corpo calloso, 58
corpo cellulare, 64
corteccia cerebellare, 61
corteccia cerebrale, 61-62, 65-67
– di ordine inferiore, 142, 143, 151
– somatosensitiva, 111, 112, 139
corteccia limbica, 62
Cosmides, Leda, 380, 390
Cottingham, R., 384
Creutzfeldt, O., 369

Crick, Francis, 13, 121, 321, 330, 365, 369, 371, 384, 391
Critchley, M., 381
cuore, ruolo del, 343-44

Daffner, K.R., 367
Damasio, Hanna, 14, 15, 56-57, 67, 70, 116, 120, 156, 195, 291, 301, 365, 366, 368, 369, 370, 373, 382, 388
Dandy, Walter, 98
Darwin, Charles, 20, 206, 244, 318, 364, 378, 387
Davidson, Richard, 202, 378, 379
Davis, B., 385
Davis, J.L., 391
Davis, Michael, 195, 377
Dayan, P., 262, 381
De Renzi, E., 368
De Sousa, Ronald, 280, 382, 388
Debski, E., 374
decisione, *si veda* emozione
Degos, J.D., 378
Dehaene, S., 381
dendriti, 64
Dennett, Daniel, 147, 310, 321, 330, 331, 370, 384, 389
diencefalo, 58
Discours de la méthode, 337
dissociazione, 41-42
dolore e piacere, 354-60
dopamina, 125
Douglas, William O., 115-16
Duchenne, Guillaume-Benjamin, 206, 379
Dudai, Y., 389
Dupuy, E., 364

Eckhorn, R., 371
Edelman, Gerald, 318, 321, 326, 331, 371, 374, 375, 383, 384, 391
effetto placebo, 346-47
Egan, C.L., 376
Ehrlich, P., 391
Einstein, Albert, 164, 374
Eisenberg, H.M., 382
Ekman, Paul, 190, 213-14, 377, 378
Éluard, Paul, 343, 384
emozione/i
- amigdala ed emozioni primarie, 195-96
- anosognosia e, 107-11
- corpo come teatro della, 222-27
- differenza tra sentimento e, 206-207
- e lesioni dell'amigdala, 116-17
- e ragionamento, 267-76
- mente e, 227-28
- prove da altri casi di lesioni prefrontali, 97-107
- prove da studi su animali, 122-26
- ruolo della corteccia del cingolato anteriore, 119-22
- schemi neurali disposizionali e, 198-99
- secondo W. James, 189-92
- sentimento di, 207-10
- specificità dei sistemi neurali e, 201-206

emozioni primarie, 192-96
emozioni secondarie, 196-201
endorfine, 229
Engel, A.K., 371
epilettico, stato di male, 40
Eslinger, Paul, 86, 367
esperimenti con giochi d'azzardo, 291-98
Essen, D. van, 370, 373
Evans, J.St.B.T., 280, 382
Evans, M.E., 82, 366

Faulkner, William, 343-44, 384
Felleman, D., 372-73
Ferrier, David, 44-45, 53, 68, 364
Feynman, Richard, 163
Finch, C.E., 390
Flanagan, O., 364, 389

Frank, Randall, 67, 365
Franzen, E.A., 369
frenologia, 45-49
Freud, Sigmund, 182, 189, 376
Friesen, W.V., 379
Fromkin, Victoria, 13
Fulton, J.F., 122-24, 369
Fuster, Joaquim, 125, 257, 370, 371, 381, 388
futuro
– e risposta della conduttanza cutanea, 301-303
– miopia rispetto al, 298-300
– prevedere il, 301-303
– ricordi del, 353

Gage, Phineas P., 19, 27, 40-45, 48-52, 53-54, 71, 76, 78, 92-93, 97, 98, 100, 101, 107, 117, 135, 239, 241, 251, 295, 366
– cambiamenti della personalità, 36-40
– descrizione dell'incidente, 31-36
– importanza del caso, 40-45
– interrogativi rimasti senza risposta, 49-52
– ricostruzione dell'incidente, 14, 55-58, 67-70
Gainotti, Guido, 202, 378
Galaburda, Albert, 67, 365
Galbraith, G.C., 369
Gall, Franz Joseph, 45-48
Gardner, Howard, 202, 240, 374, 378, 380, 388
Gazzaniga, Michael, 202, 378, 389
geni, ruolo dei, 167-69
Geschwind, Norman, 204-205, 387
Gilbert, C.D., 372
Girvin, J.P., 383
Glick, S.M., 375
Gloor, Pierre, 195, 377
glutammato, 65, 272
Gold, P., 376
Goldman-Rakic, Patricia, 125, 301, 370, 371, 380, 381
– memoria operativa, 275-76
Gould, S.J., 390
Grabowski, Thomas, 67, 156, 365, 373
Grattan, L.M., 367
Gray, C., 371
Gray, F., 378

Hachinski, V.C., 383
Hadamard, J., 374
Hakeem, A., 376
Halgren, Eric, 195
Hamilton, S.E., 373
Hamilton, S.L., 373
Hare, R.D., 382
Harlow, John, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 45, 48-50, 53-56, 364
Harrer, G., 272, 381
Harrer, H., 272, 381
Harvard Medical School, Warren Medical Museum of, 56
Hathaway, S.R., 366
Hebb, Donald, 100, 367, 387
Hebb e Penfield, paziente di, 101-102
Heilman, Kenneth, 202, 368, 369, 378
Henson, R.A., 381
Herkenham, M., 375
Herzog, A., 376
Hichwa, R.D., 373
Hinde, R.A., 389
Hirsch, J.A., 372
Hoesen, G.W. van, 13, 120, 195, 369, 370, 373, 378, 381
Hohmann, G.W., 383
Hoover, J.E., 324
Hosoi, J., 376
Hubel, D.H., 373, 374, 389
Hughes, R., 384
Hume, David, 165, 279
Humphrey, Nicholas, 318, 383, 389
Hyman, Bradley, 116, 368

Il disagio della civiltà, 183
immagini, 141
– immagazzinamento delle, 154-55
– pensieri formati a partire da, 162-65
– percettive, definizione, 149
– percettive, formazione, 152-54
– richiamate, definizione, 150
– richiamate, formazione, 157-58
– ruolo delle, 149-51
– schemi neurali disposizionali, 156-60
Insel, Thomas, 181, 376
intelligenza sociale, 240
intuizione, 263-65
ipotalamo, ruolo dell', 176-78
Ippocrate, 340
istinti, ruolo degli, 171-72, 182-86
Izard, C.E., 388

Jacob, F., 390
Jacobsen, C.F., 122, 123-24, 369
James, William, 166, 189-92, 212, 215, 222, 305, 331, 377, 387
Jasper, W., 377
Jeffress, L.A., 381
Jennings, J.R., 383
Jerne, Niels, 375
Jessell, T., 365, 373, 388
Johnson, G., 391
Johnson, Mark, 305, 318, 389
Johnson-Laird, Phillip, 265, 280, 380, 382, 388
Jones, E.G., 144, 365, 370
Jordan, W., 371
Josephs, R.A., 382

Kaas, J.H., 372
Kagan, Jerome, 326, 384, 388
Kahneman, Daniel, 244, 267, 268, 380
Kandel, E., 365, 373, 388
Kant, I., 242, 244
Karajan, Herbert von, 272-73
Katz, L.C., 374
Kauffman, Stuart A., 375, 390
Kazan, Elia, 205
Kimble, D.P., 377
Klima, Edward, 13
Kling, M.A., 376
Kluver, Heinrich, 195, 378
Koch, C., 371, 391
Koenig, P., 371, 389
Kohlberg, L., 89, 366
Konishi, M., 372
Kosslyn, Steven, 156, 372, 374, 389
Kreiter, A.K., 371
Kruse, W., 371

L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli animali, 206
La dama di picche, 215
Lakoff, George, 305, 318, 383, 389
Laplane, D., 195, 378
Lashley, Karl, 277, 381
Lazarus, Richard, 190, 377
Le passioni dell'anima, 183
LeDoux, Joseph, 117, 195, 368, 377, 389
LeRoith, D., 375
LeVay, S., 374
lesione prefrontale bilaterale, 116-17, 122-25
leucotomia prefrontale, 103-106
Levenson, R.W., 379
Levin, H.S., 382
Levy, Jerre, 202
Lewontin, R.C., 375, 385, 390
Lezak, M., 366
Libertà, 343
Lima, Almeida, 103, 358-59, 385
linguaggio, menomazione del, *si veda* afasia
Livingstone, M.S., 373
Llinás, Rodolfo, 321, 371, 384

lobotomia frontale, 106-107
Lowel, S., 371
Luria, A.R., 388

MacMillan, M.B., 48, 364
Magnusson, D., 389
malattie del cervello contro malattie della mente, 79
Maljkovic, V., 373
Malsburg, C. von der, 370
Mandelbrot, Benoit, 163, 374
Mandler, George, 190, 377, 388
Manktelow, K.I., 382
marcatore somatico (ipotesi del)
– attenzione e memoria operativa e, 273-76
– descrizione, 244-48
– e risposte del sistema nervoso autonomo, 283-91
– emozione e ragionamento, 267-76
– esperimenti con giochi d'azzardo, 291-98
– inclinazioni e creazione di ordine, 277-79
– intuizione, 263-65
– manifesto e celato, 259-60
– miopia verso il futuro, 298-300
– origine, 250-54
– rete neurale per, 254-58
– simboli «come se», 223-27, 258-59
– verifica dell'ipotesi del, 283 sgg.
Marcel, A., 110, 367
Marder, E., 376
Marshall, J., 364
Martin, J.H., 365
McCulloch, Warren, 43
McEwen, B.S., 375
McGuinness, E., 371
McKinley, J.C., 366
McLaughlin, T., 376
McNeil, B.J., 366
Means-Ends Problem-Solving Procedure, 88
meccanismi preorganizzati, 174-75
Medawar, J.S., 390
Medawar, P.B., 390
memoria operativa, 80-81
– e marcatori somatici, 273-76
meningioma, 73
mente
– connessione di corpo e, 305-19
– emozione e sentimenti e, 227-28
– «incorporata», 318
– relazione con il comportamento, 140-42
– secondo Cartesio, 336-41
– tradizionali vedute mediche sulla, 345-47
Merzenich, Michael, 159, 208, 372, 373
Mesulam, M.M., 367, 368, 383
Michelow, D., 378
Miezin, F., 371
Miller, J., 389
Milner, Brenda, 81, 256, 366, 380
Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI), 83
Moniz, Egas, 103-106, 123, 358, 367
Montague, P.R., 262, 381
Morecraft, R.J., 369, 381
Multilingual Aphasia Examination, 80
Munk, M., 371
Murphy, G.F., 376
Museo Barnum, 38
Myers, Ronald, 123, 369

Nahm, Frederick, 116, 368
Nakamura, R., 371
Nauta, Walle, 258
Nelson, R.J., 372
neocorteccia (neopallio), 62
– dimensioni ed effetti sulla memoria, 187-89

neuroanatomia, importanza della, 58
neurobiologia
– della razionalità, 135
– e medicina, 345-49
– limiti della, 349-52
neuroni, 60-61, 62-65
– connettività, 65-67
– modulatori, 168
neuropsicologia sperimentale, 96-97
neurotrasmettitori, 64-65
– sentimenti e, 228-32
– serotonina, 125-28
nevralgia del trigemino, 357-59
Newsome, William T., 278, 381
noradrenalina (norepinefrina), 125
nucleo (di neuroni), 63

Oatley, Keith, 280, 382
Olivier, A., 377
Olivier, Laurence, 205
Oppenheimer, S.M., 383
organismo/i
– e ambiente, 142-44
– relazione di corpo e cervello con, 138-40
– stati dell', 137-38
ormoni/peptidi, sentimenti e, 209-11, 229-30
Ornstein, R., 389, 391
ossitocina, 180-81
Over, D.E., 382
Ovidio, 337

Pandya, D.N., 370, 380
Parker, Dorothy, 305
Pascal, Blaise, 235, 279, 326, 379, 382
Passingham, R.E., 117, 195, 368, 377
Pauker, S.G., 366
paziente A, caso clinico, 98-100
Penfield, Wilder, 100, 195, 367, 377
pensiero fatto di immagini, 162-65
peptide, CGRP, 178
peptidi, sentimenti e, 209, 229-30
Pert, C.B., 375
Petersen, S.E., 120, 369, 371, 381
Petrides, Michael, 256, 380
Platone, 242, 339
Plum, Fred, 324, 384
Poe, Edgar Allan, 33
Poggio, T.A., 277
Poincaré, Henri, 264-65, 381
Posner, Jerome, 324, 384
Posner, M.I., 120, 369, 371, 381
Powell, T.P.S., 144, 370
Powers, P.S., 379
Pribram, K.H., 195, 377, 388
Price, B.H., 367
Priming, 162
Principia Philosophiae, 337
proiezioni e percorsi, 104
Prozac, 127, 359-60
pulsioni e istinti, ruolo di, 171-72, 182-86
Purves, D., 390
Putnam, H., 383

Quesney, L.F., 377
Quinn, M.J., 382

ragionamento
– attenzione, memoria operativa e, 273-76
– decisione e, 235-39
– emozione e, 267-73
– fuori dei domini personale e sociale, 265-67
– in uno spazio personale e sociale, 239-41
– intuizione, 263-65
– ipotesi del marcatore somatico, 244-48
– marcatori somatici manifesti e celati, 259-60
– orientato e creazione di ordine, 277-79

– origine dei marcatori somatici, 250-54
– processo di, 241-44
– prospettiva di ragione alta, 241-44
– rete neurale per i marcatori somatici, 254-58
– sentimenti e, 333-36
Raleigh, Michael, 126, 370
Ramachandran, V.S., 372
rappresentazione «in terza persona», 231, 328, 329
Rauch, S.L., 373
Real, Leslie, 261, 262, 381
regione prefrontale ventromediana, 68-69
regolazione biologica e sopravvivenza
– disposizioni per la sopravvivenza, 171-76
– e ipotalamo, 176-78
– e ossitocina, 180-81
– pulsioni e istinti, ruolo, 171-72, 182-86
regolazione chimica, 177-79
Reitboeck, H.J., 371
Resnik, Regina, 214-15
Restak, R.M., 391
Rey-Osterrieth, test di, 80
risonanza magnetica funzionale (*functional magnetic resonance*, FMR), 156
Rockland, K., 13, 370, 373
Rolls, E.T., 195
Rosch, Eleanor, 318, 383
Rose, S., 389
Ross, E.D., 368
Roth, J., 375
Ruff, M.R., 375
Russell, J.A., 379
Rutter, M., 390

Sacks, Oliver, 220, 379
Salk, Jonas, 265, 381, 385, 390
Salzman, C.D., 381
Sanides, F., 380
Saper, C.B., 376
Satz, P., 369
Saver, Jeffrey, 87, 91, 366
scarica (dei neuroni), 64
schemi neurali disposizionali
– acquisiti, 157-59
– conoscenza contenuta in, 160-62
– emozioni e, 198-99
Schillen, T.B., 371
Schwartz, J., 365
sé, 310-11
– neurale, 154, 320-31
Searle, John, 321, 383
Sejnowski, T.J., 262, 365, 374, 381, 387
sentimento/i
– anosognosia e, 220-22
– come sentiamo, 213
– delle emozioni, 206-208
– di fondo, 207, 216-22
– differenza tra emozione e, 206-207
– giustapposizione/sovrapposizione nei, 211-12
– mente e, 227-28
– ormoni/peptidi e, 209, 229-30
– processo del, 228-34
– ragione e, 333-36
– stati corporei e, 213-15
– varietà di, 215-16
serotonina, 125-26
Sesta sinfonia (Beethoven), 273
Shafir, Eldar, 380
Shakespeare, W., 189
Shallice, Tim, 82, 267, 366, 381
Shattuck, D.D., 39, 56
Shatz, C., 374
Shepard, Roger, 374
Silverman, M.S., 373
sinapsi, 64
Singer, W., 371
sistema limbico, 62, 176
sistema nervoso autonomo
– risposte e ipotesi del marcatore somatico, 283-91
sistema nervoso centrale
– descrizione, 58-65

sistema nervoso periferico, 59
sistemi neurali
– architettura, 144-45
– per i marcatori somatici, 254-58
– sviluppo dei, 165-70
Sizer, Nelson, 48-49, 365
sociopatia dello sviluppo/psicopatia, 251-52
sopravvivenza e strategie sociali, 352-60
– *si veda anche* regolazione biologica e sopravvivenza
sostanza bianca, 60
sostanza grigia, 60-61
– subcorticale, 61
Sox, H.C., 366
Sperry, Roger, 202, 368, 378
Sporns, O., 371
Spurzheim, Johann Caspar, 45, 48
Squire, Larry, 195, 375, 390
Standard Issue Moral Judgment Interview, 89
Stanislavskij, Konstantin, 206
Steele, C.M., 382
Stent, Gunther, 335, 384, 390
Stevens, Charles, 350
Stowe, R.M., 367
Strasberg, Lee, 205
Stravinskij, I., 216
stress mentale cronico, 178
strutture dominanti, 113
Stuss, D.T., 367
Styron, William, 212, 379
Sullivan, W.E., 372
Suomi, S.J., 369
Sur, M., 372
Sutherland, Stuart, 244, 267, 380, 388
Switkes, E., 373
Szilard, Leo, 265, 381

Takahashi, T., 372
teatro cartesiano, 147
temporizzazione, 148-49
test standard di Benton, 80
The Method, tecnica di recitazione, 206
Thompson, E., 383
Thompson, W.L., 372
tic douloureux, 357
Tolstoj, L., 360
tomografia a emissione di positroni (*positron emission tomography*, PET), 156
Tononi, G., 371
Tooby, John, 380, 390
Tootell, R.B.H., 159, 373
Tranel, Daniel, 13, 85, 116, 283, 301, 368, 373, 382
Tristano e Isotta, 180
Tristia, 338
Tversky, Amos, 244, 267, 268, 366, 380

Un'oscurità trasparente, 212

Valenstein, E.S., 367
Varela, Francisco, 318, 383
Verdi, G., 216
Virga, A., 373
visualizzazione del sistema neurale, tecniche, 57-58

Wagner, H., 372
Wagner, Richard, 180
Wall, J., 372
Waller, F., 261
Wapner, W., 378
Warren, J.M., 366
Watkins, G.L., 373
Watkinson, A., 375
Watson, R.T., 378
Weaver, N.R., 375
Weber, R.J., 375
Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS), 78
Weise, S.B., 373
Weiskrantz, Larry, 117, 195, 368, 377, 381
Wernicke, Karl, 53-54, 365
Wesendonk, Mathilde, 180
West, Nathanael, 39, 364
Wiesel, T.N., 372, 374

Williams, Edward, 34, 364
Wisconsin Card Sorting Test, 81
Woodward, B., 368

Yeterian, E.H., 380
Young, J.Z., 375

Zaidel, D., 378
Zaidel, Eran, 202, 378
Zajonc, Robert, 190, 377, 388
Zeki, S., 371, 372
Zola-Morgan, S., 377
zona di convergenza, 231
Zuelch, K.J., 369